



**Universidade de Aveiro** Departamento de Engenharia Civil  
Ano 2012

**RITA ADRIANA  
GONÇALVES REIS**

**ANÁLISE DO ESCOAMENTO NA LIGAÇÃO DE  
RAMAIS DE DRENAGEM**





**Universidade de Aveiro** Departamento de Engenharia Civil  
Ano 2011

**RITA ADRIANA  
GONÇALVES REIS**

## **ANÁLISE DO ESCOAMENTO NA LIGAÇÃO DE RAMAIS DE DRENAGEM**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizado sob a orientação científica do Professor Doutor Armando Silva Afonso, Professor Associado Convidado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.



*“ Tudo o que chega... Chega sempre por uma razão ”*

(Fernando Pessoa)



## **O júri**

Presidente

Prof<sup>a</sup>. Doutora Margarida João Fernandes de Pinho Lopes

Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João Pedro da Silva Poças Martins

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da  
Universidade do Porto

Prof. Doutor Armando Baptista da Silva Afonso

Professor Associado Convidado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de  
Aveiro





## **Agradecimentos**

A toda a minha família em especial aos meus pais e irmãs que me apoiaram e acreditaram de que era capaz

A todos os meus amigos e amigas pelo apoio, incentivo, compreensão e acima de tudo amizade.

Um muito obrigado à Jael Simões pela persistência e suporte nesta caminhada que aqui finda.

À Sofia Costa por ter estado sempre "lá" nos maus e bons momentos.

À Rita Afonso pela incansável paciência em me ouvir e compreender.

À Alicia Liliana que foi um apoio muito importante e que sem as suas palavras sábias e orientação eu não teria chegado aqui.

Ao meu namorado Francisco pela capacidade de compreender que tudo não passava de uma fase que finalmente termina, pelo seu carinho e dedicação

À Eng<sup>a</sup> Carla Rodrigues pelo incentivo e ajuda prestados no desenvolvimento e conclusão deste trabalho

Ao meu orientador, Prof. Doutor Armando Silva Afonso, pelo apoio e orientação, essenciais na realização deste trabalho.



**Palavras-chave**

Drenagem predial, ramais de descarga, tubos de queda, disposições construtivas,

**Resumo**

Este trabalho tem como objetivo principal o estudo do comportamento do escoamento nas diferentes ligações de ramais de drenagem a tubos de queda.

Como o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais brevemente entrará em revisão, serão propostas disposições construtiva, com base nos resultados do estudo.

O estudo foi realizado recorrendo à Torre Hidráulica do Laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro



**Keywords**

Building drainage, discharge branches, stack, and constructive provisions.

**Abstract**

This work has as main objective the study of the flow behavior in the different drainage branches connections to stack.

As the General Regulation of Public and Building Water Distribution and Wastewater Drainage Systems will briefly enter into review, constructive provisions will be proposed, based on the results of the study.

The study was conducted using the Hydraulics Laboratory Tower, from the Civil Engineering Department at Aveiro University.



---

# Índice

Índice de Figuras .....	v
Índice de Tabelas .....	vii
1. Introdução .....	1
1.1. Enquadramento geral .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.3. Estratégia .....	2
1.4. Organização .....	4
2. Estado da arte .....	7
2.1. Notas históricas .....	7
2.2. Sistemas de drenagem predial de águas residuais .....	8
2.2.1. Contexto do Decreto Regulamentar nº 23/95 .....	8
2.2.1.1. Generalidades .....	8
2.2.1.2. Ramais de descarga .....	9
2.2.1.3. Ramais de ventilação .....	11
2.2.1.4. Tubos de queda .....	12
2.2.1.5. Coletores prediais .....	13
2.2.2. Contexto da Norma Europeia EN 12056 .....	14
2.2.2.1. Generalidades .....	14
2.2.2.2. Norma Europeia EN 12056 – Parte 2: Esquemas e cálculo da rede predial .....	14
2.2.3. Materiais das tubagens .....	20
2.3. Análise do escoamento em ramais de descarga .....	20
2.3.1. Introdução .....	20
2.3.2. Disposições construtivas .....	22
2.3.3. Características do escoamento de forma circular .....	23
2.3.4. Mecanismos de escoamentos verticais .....	24
2.4. Estudos anteriormente efetuados .....	25
2.4.1. Investigação do efeito da configuração das ligações de ramais de descarga a tubos de queda .....	25
2.4.2. Simulação através do método computacional (CFD) para o estudo das características de um sistema de drenagem sifonado .....	27
2.4.2.1. Análise da velocidade final à saída do tubo de queda .....	28
2.4.2.2. Análise do escoamento em tubagens com drenagem sifonada .....	29
2.4.2.3. Conclusões .....	29
2.4.3. Estudo empírico sobre a velocidade final num sistema de drenagem .....	29

---

2.4.4.	Os efeitos do uso de sanitários eficientes na concepção de sistemas de drenagem predial – Estados Unidos da América .....	30
2.4.5.	Determinação da velocidade final do escoamento em sistemas de drenagem através de simulação .....	31
2.4.5.1.	Metodologia .....	32
2.4.5.2.	Resultados .....	33
2.4.5.3.	Conclusões .....	34
2.4.6.	Estudo sobre o desempenho do tubo de queda de um sistema de drenagem predial em pequenos edifícios habitacionais - Japão .....	35
3.	Descrição da Torre Hidráulica .....	39
4.	Descrição do equipamento .....	43
4.1.	Câmara telescópica (observação do interior) .....	43
4.1.1.	Generalidades .....	43
4.1.2.	Fotografias e vídeo (observação de interiores) .....	44
4.2.	Máquina fotográfica e vídeo .....	45
5.	Descrição dos Ensaios .....	47
5.1.	Estudo experimental .....	47
5.2.	Ligação a tubos de queda .....	47
5.2.1.	Análise teórica .....	47
5.2.2.	Teoria dos jatos líquidos .....	47
5.2.2.1.	Ligações ao tubo de queda ( $\cong 90^\circ$ ) .....	48
5.2.2.2.	Ligações ao tubo de queda – Forquilha ( $\cong 45^\circ$ ) .....	51
5.3.	Ensaios experimentais em tubos de queda .....	53
5.3.1.	Ligações em T .....	53
5.3.2.	Ligações em forquilha .....	54
5.4.	Ensaios em ramais de descarga .....	54
6.	Resultados obtidos .....	57
6.1.	Resultados teóricos .....	57
6.2.	Imagens obtidas .....	58
6.2.1.	Considerações .....	58
6.2.2.	Ligações a tubos de queda .....	58
6.2.3.	Ligações de aparelhos a ramais .....	61
6.3.	Tabela-Resumo .....	62
7.	Análise de resultados .....	63
7.1.	Proposta de disposições construtivas .....	64

---



---

8.	Conclusões.....	67
9.	Sugestão para Trabalhos Futuros.....	69
10.	Referências Bibliográficas.....	71

---

---

## Índice de Figuras

Figura 1.	Torre Hidráulica do Departamento Engenharia Civil da Universidade de Aveiro .....	2
Figura 2.	Câmara telescópica.....	3
Figura 3.	Máquina fotográfica Samsung 10.2 MegaPíxeis .....	3
Figura 4.	Blocos WC.....	4
Figura 5.	Mistura dos blocos de WC com água – corante azul .....	4
Figura 6.	ANEXO XX – Valores mínimos do prolongamento do tubo de queda acima da cobertura (m) (DR-nº23/95, 1995) .....	13
Figura 7.	Configuração do sistema com ventilação primária (EN-12056, 2000).....	16
Figura 8.	Configuração do sistema com ventilação secundária (EN-12056, 2000) .....	17
Figura 9.	Configuração de ramais de descarga não ventilados (EN-12056, 2000) .....	18
Figura 10.	Configuração de ramais de descarga ventilados (EN-12056, 2000) .....	19
Figura 11.	Tipos de ligação ao tubo de queda (Valsir, 2009) .....	21
Figura 12.	Ramal de Ligação tipo (Torres, 1999) .....	22
Figura 13.	Desenvolvimento do escoamento circular ao longo do tubo e as respetivas condições no término do tubo (Swaffield e Galowin, 1992) .....	23
Figura 14.	Esquema de um sistema de drenagem vertical com ramais de ligação (Swaffield e Galowin, 1992) . .....	24
Figura 15.	Descarga do escoamento no tubo de queda, vista em corte e em planta. (Swaffield e Galowin, 1992) .....	25
Figura 16.	a) Configuração geral do sistema de drenagem em estudo; b) Ligação do ramal de drenagem ao tubo de queda; c) Diferentes configurações utilizadas na ligação de ramais. (Öngören, Materna, et al., 2005)....	26
Figura 17.	Comportamento do escoamento no interior do tubo com ligação de 45° (Öngören, Materna, et al., 2005) .....	27
Figura 18.	Comparação entre a velocidade experimental e a velocidade analítica. (Kajiya, Mitsunaga, et al., 2008) .....	28
Figura 19.	Interação ar-água no interior do tubo de queda (Cheng, Liao, et al., 2009).....	30
Figura 20.	Representação esquemática do sistema de drenagem (Lee, Wong, et al., 2010) .....	32
Figura 21.	Secção Transversal do ramal de ligação. (Lee, Wong, et al., 2010) .....	32
Figura 22.	Gráfico de curvas de nível da velocidade superficial verificada para os caudais de 1 l/s e 2 l/s, respetivamente (Lee, Wong, et al., 2010) .....	34
Figura 23.	Gráfico de curvas de nível da velocidade superficial verificada para os caudais de 3 l/s e 4 l/s, respetivamente (Lee, Wong, et al., 2010) .....	34
Figura 24.	Experiência no sistema de drenagem predial (Ueno e Otsuka, 2011).....	36
Figura 25.	Torre Hidráulica do Laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro - localização dos tubos de queda .....	39
Figura 26.	Ramal de descarga com redução de secção .....	40
Figura 27.	Sistema Geberit Sovent .....	41
Figura 28.	Peça em arame em forma circular .....	44
Figura 29.	Escoamento de ramal de descarga numa ligação em T.....	44

---

Figura 30.	Sistema de eixos considerado .....	48
Figura 31.	Esquematisação da ligação tubo de queda – ramal de descarga ( $\cong 90^0$ ) .....	48
Figura 32.	Esquematisação da ligação tubo de queda – ramal de descarga – Forquilha de $\cong 45^0$ .....	51
Figura 33.	Altura a que não deve haver uma ligação oposta.....	54
Figura 34.	Diluição das pastilhas corantes em água – bidé.....	55
Figura 35.	Ligação do dispositivo (bidé) ao ramal de descarga .....	55
Figura 36.	Mistura de escoamentos – cor azul do bidé e cor branca da banheira .....	56
Figura 37.	Escoamento na ligação dos ramais de drenagem ao tubo de queda – Ângulo de intersecção $45^0$ ...	58
Figura 38.	Escoamento na ligação dos ramais de drenagem ao tubo de queda – Alçado posterior – Ligação em T ( $\cong 89^0$ ) .....	59
Figura 39.	Escoamento na ligação de ramais de drenagem ao tubo de queda – Alçado principal – Ligação inferior em T ( $\cong 89^0$ ).....	60
Figura 40.	Curva de concordância na ligação do ramal de descarga ao tubo de queda Nº2 .....	60
Figura 41.	Escoamento na ligação dos ramais de descarga ao tubo de queda – Alçado Principal – Ligação em T ( $\cong 89^0$ ) .....	61
Figura 42.	Escoamento na ligação de dispositivos com ramais de descarga.....	61
Figura 43.	Fenómeno a evitar em ligações opostas em tubos de queda .....	63
Figura 44.	Ligação em T – Ligação verticalmente oposta .....	64
Figura 45.	Proposta de disposição construtiva – Exemplo ligação em forquilha .....	65
Figura 46.	Proposta de disposição construtiva – Exemplo ligação em T .....	65

---

## Índice de Tabelas

Tabela 1.	ANEXO XIV – Caudais de descarga dos aparelhos e equipamentos sanitários e características geométricas de ramais de descarga e sifões a considerar em aparelhos de utilização mais corrente (DR-nº23/95, 1995)	10
Tabela 2.	ANEXO XVI – Distâncias máximas entre os sifões e as secções ventiladas para escoamento a secção cheia (DR-nº23/95, 1995)	12
Tabela 3.	Condição fronteira para diferentes caudais escoados. (Lee, Wong, et al., 2010)	33
Tabela 4.	Resultados obtidos (Lee, Wong, et al., 2010)	33
Tabela 5.	Caudais instantâneos regulamentares (Geberit, 2006)	40
Tabela 6.	Caudais instantâneos dos dispositivos do alçado posterior (Geberit, 2006)	42
Tabela 7.	Resultados teóricos – Ligações em T (90º)	57
Tabela 8.	Resultados teóricos – Ligações em Forquilha (45º)	57
Tabela 9.	Resultados dos ensaios experimentais	62



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento geral

O saneamento básico tem sido fundamental para o desenvolvimento da civilização urbana. O projeto e a instalação de sistemas de drenagem dentro dos edifícios para a recolha de efluentes tem sido comum desde há muitas décadas e é uma parte essencial da vida quotidiana e das atividades humanas. A errada conceção ou o descuido da manutenção destes sistemas pode causar sérios problemas a curto-médio prazo (Sakaue, 2010).

A conceção de sistemas de drenagem predial de edifícios passa pela prevenção da entrada de odores desagradáveis para os dispositivos e o abastecimento suficiente de água, para o arrastamento de sólidos. (Swaffield e Galowin, 1992)

Os ramais de descarga transportam as águas domésticas para os respetivos tubos de queda ou, em caso da inexistência destes, diretamente para os coletores prediais. Os ramais podem ser individuais, se só drenarem apenas um aparelho sanitário, ou então podem ser coletivos se drenarem vários aparelhos sanitários. De acordo com o Regulamento Geral Português os primeiros devem ser dimensionados à secção cheia e os segundos a meia secção (DR-nº23/95, 1995).

Todas as águas residuais recolhidas acima ou ao nível do arrumamento onde está instalado o coletor público em que vão ser descarregadas, devem ser escoadas para este coletor por ação da gravidade (Martins, 2007).

As águas residuais recolhidas abaixo do nível do arruamento, como por exemplos as caves, mesmo que localizadas acima do nível do coletor público, devem ser elevadas para um nível igual ou superior ao arruamento, tendo em conta o possível funcionamento em carga do coletor público, como consequência do alargamento das caves. Se conseguir garantir o não alargamento das caves, então pode-se dispensar a elevação da recolha das águas residuais (Martins, 2007).

## 1.2.Objetivos

Pretende-se com a presente dissertação compreender as características do escoamento na ligação de ramais de descarga com tubos de queda propondo, disposições construtivas que podem constar do Regulamento Geral Português, cuja revisão se iniciará em breve. O estudo foi elaborado com recurso à Torre Hidráulica do Laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro (Figura 1), simulando o escoamento em sistemas de drenagem predial, especialmente nas suas ligações.



Figura 1. Torre Hidráulica do Departamento Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

## 1.3.Estratégia

O recurso à Torre Hidráulica do Departamento de Engenharia Civil visou a simulação das descargas de determinados aparelhos sanitários e com o auxílio de uma câmara telescópica (Figura 2), numa primeira fase, obter imagens do comportamento do escoamento dentro das tubagens e respetivas ligações.





Figura 2. Câmara telescópica

Esta câmara permite obter imagens de locais de difícil acesso. Numa tentativa de conhecer o comportamento do escoamento no interior das tubagens utilizou-se este aparelho, embora que sem grande resultado, como se verificará posteriormente.

Em complemento utilizou-se uma máquina fotográfica Samsung 10.2 Mega Pixéis idêntica à da Figura 3 para obtenção de imagens a partir do exterior.



Figura 3. Máquina fotográfica Samsung 10.2 MegaPixeis

A opção por filmar as tubagens e respetivos os escoamentos nas várias ligações do lado exterior, resulta do fato de estas serem em acrílico transparente.

Os ensaios foram realizados com auxílio de um fundo em cartolina branca, devido por um lado ao contraste da cor, por outro devido à fraca luminosidade do laboratório. Esta cartolina foi colocada na parte de trás das ligações das tubagens a serem filmadas/fotografadas.

Para a água ter uma tonalidade perceptível nas filmagens optou-se por usar um corante azul feito com pastilhas para sanitas de casa de banho apresentadas na Figura 4, misturadas com água. Assim o escoamento assumirá uma cor em tons de azul como se pode verificar pela Figura 5.



Figura 4. Blocos WC



Figura 5. Mistura dos blocos de WC com água – corante azul

## 1.4. Organização

A presente dissertação está dividida em dez capítulos nos quais são delineados as diferentes temáticas abordadas.

O primeiro capítulo serve de introdução à dissertação em si, sendo tecidas considerações gerais, bem como o enquadramento geral e os objetivos.

No capítulo dois é feito uma abordagem dos conceitos dos sistemas de drenagem predial de águas residuais tendo em consideração a legislação em vigor quer a nível de Portugal quer da Europa. São, ainda, referidos estudos anteriormente realizados no âmbito da análise de escoamentos de ramais de drenagem.

No capítulo três faz-se uma breve descrição da Torre Hidráulica do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e dos seus componentes.

O capítulo quatro caracteriza-se pela descrição dos equipamentos utilizados à recolha das imagens durante os ensaios e toda a estratégia inerente à realização dos ensaios.

No capítulo cinco é feita uma análise teórica das ligações em estudo tendo em consideração a teoria dos jatos líquidos. São apresentados os ensaios em laboratório efetuados para o estudo da presente dissertação, nas diferentes ligações de ramais de descarga a tubos de queda.

No sexto capítulo encontram-se expostos os resultados dos ensaios. As imagens obtidas dos ensaios nas ligações dos tubos de queda a ramais de descarga. É apresentado, também, os resultados na análise teórica.

No capítulo sétimo analisam-se os resultados tendo em conta os ensaios realizados e são propostas as disposições construtivas, conforme possível. Comparam-se, ainda, a análise teórica feita e estudo laboratorial realizado.

No capítulo oitavo apresentam-se as devidas conclusões, retiradas após a análise do presente trabalho.

No nono e penúltimo capítulo e de uma maneira simplificada expõem-se sugestões para trabalhos futuros a realizar numa futura abordagem às ligações dos ramais de drenagem aos tubos de queda.

O décimo e último capítulo cita as referências bibliográficas utilizadas para a elaboração da presente dissertação.



## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1. Notas históricas

A importância da água para o desenvolvimento da civilização humana tem sido de tal modo evidente que se torna difícil avaliar corretamente toda a sua importância (Barbosa, 1999).

As primeiras referências encontradas sobre redes de drenagem predial são de 2.500 a.C. no Paquistão. Sendo que estas redes eram em tubo de grés (Silva Afonso, 2007).

Os gregos e os romanos dedicaram-se mais ao aperfeiçoamento das tecnologias até aí existentes, construindo a chamada *Cloaca Maxima*, um coletor em tijolo, atualmente em funcionamento.

Desde há 150 anos para a actualidade, tem se notado uma enorme evolução neste sector, forçada pelo crescimento industrial, pela concentração das populações em zonas litorais e pelo agravamento das condições ambientais, especialmente da qualidade da água (Matos, 2003).

O primeiro registo de sistemas de abastecimento, drenagem e tratamento de esgotos em Portugal remonta ao século XV em que D.João II, devido à peste de assolou o país, mandou limpar os canos, canos esses que eram, na teoria, destinados à drenagem de águas pluviais, mas que na prática destinavam-se a tudo o que era lixo e imundices provocadas pelo elevado aglomerado populacional na cidade de Lisboa, tornando-a doentia (Matos, 2003).

Entre a década de oitenta e a de noventa do século passado, o investimento em saneamento teve um crescimento bastante significativo, principalmente nos centros urbanos.

Atualmente é expectável que as taxas de atendimento em drenagem e tratamento de águas residuais sejam, respetivamente 70% e 55%, e que possam atingir 90%, muito devido a obras projetadas ou em execução no âmbito dos Sistemas Multimunicipais de Abastecimento de Águas e de Saneamento criados (Matos, 2003).

## **2.2.Sistemas de drenagem predial de águas residuais**

### **2.2.1. Contexto do Decreto Regulamentar nº 23/95**

#### **2.2.1.1. Generalidades**

O Decreto Regulamentar nº23/95, de 23 de Agosto, denominado por "Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais", brevemente em revisão, veio atualizar a legislação existente sobre sistemas públicos e prediais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais (domésticas, pluviais e industriais), aprovando os princípios gerais a que devem obedecer a respetiva conceção, construção, exploração, instalações complementares, verificação, ensaios e desinfeção.

Segundo este Regulamento, (DR-nº23/95, 1995), é obrigatória a separação dos sistemas de drenagem de águas residuais domésticas dos de águas pluviais.

Neste capítulo ir-se-á abordar, apenas, o sistema de drenagem de águas residuais domésticas.

Os sistemas de drenagem de águas residuais domésticas devem ter ventilação primária obtida pelo prolongamento do tubo de queda até à atmosfera, com determinadas condições, ou então na falta de tubos de queda, a ventilação deve ser efetuada por colunas de ventilação, situadas nos extremos a montante dos coletores prediais.

O cumprimento das disposições estabelecidas pelo Regulamento Geral Português, (DR-nº23/95, 1995), em instalações comuns, pode garantir um funcionamento minimamente correto do sistema. Mas, se a instalação apresentar características particulares, que obriguem a uma aplicação mais exaustiva de conceitos regulamentares, só um acentuado conhecimento técnico-científico do comportamento dos escoamentos ao longo das redes (particularmente pressões negativas e positivas originadas e zonas críticas) permitirá ao projetista estabelecer um traçado capaz de satisfazer o sistema pretendido (Silva Afonso, 2003).

Infelizmente, em muitas situações, estes conceitos especificados não são domínio dos projetistas de redes prediais, o que provoca, mais tarde, problemas de diversos tipos na utilização das instalações hidráulicas (Silva Afonso, 2003).

**2.2.1.2. Ramais de descarga**

O ramais de descarga das águas residuais domésticas têm como objetivo a condução destas aos respetivos tubos de queda ou, caso não existam, aos coletores prediais (DR-nº23/95, 1995).

Estes ramais devem assegurar que a drenagem das águas seja feita rapidamente com o objetivo de evitar a estagnação das águas provenientes dos dispositivos sanitários e domésticos.

Os caudais de cálculo dos ramais de descarga de águas residuais domésticas devem basear-se nos caudais de descarga atribuídos aos aparelhos sanitários e nos coeficientes de simultaneidade. No dimensionamento hidráulico-sanitário dos ramais de descarga de águas residuais domésticas deve ter-se em atenção, entre outras considerações, que as inclinações devem situar-se entre 10 e 40 mm/m.

Os diâmetros nominais mínimos admitidos para os ramais de descarga individuais dos aparelhos sanitários variam entre os 40 e os 90 milímetros conforme a Tabela 1 pertencente ao Anexo XIV no DR nº 23/95 (DR-nº23/95, 1995).

## ANEXO XIV

**Caudais de descarga dos aparelhos e equipamentos sanitários e características geométricas de ramais de descarga e sifões a considerar em aparelhos de utilização mais corrente.**

Aparelho	Caudal de descarga (l/min.)	Ramal de descarga (milímetros)	Sifão	
			Diâmetro mínimo (milímetros)	Fecho hidráulico (milímetros)
Bacia de retrete . . . . .	90	90	(1)	50
Banheira . . . . .	60	40	30	
Bidé . . . . .	30	40	30	
Chuveiro . . . . .	30	40	30	
Lavatório . . . . .	30	40	30	
Máquina lava-louça . . . . .	60	50	40	
Máquina lava-roupa . . . . .	60	50	40	
Mictório de espaldar . . . . .	90	75	60	
Mictório suspenso . . . . .	60	50	(a)	
Pia lava-louça . . . . .	30	50	40	
Tanque . . . . .	60	50	30	
Máquinas industriais e outros aparelhos não especificados.	Em conformidade com as indicações do fabricante.			

(a) Sifão incorporado no próprio aparelho.

Tabela 1. ANEXO XIV – Caudais de descarga dos aparelhos e equipamentos sanitários e características geométricas de ramais de descarga e sifões a considerar em aparelhos de utilização mais corrente (DR-nº23/95, 1995)

Para o traçado dos ramais de descarga deve-se ter em conta o princípio dos traçados varejáveis, uma vez que os troços devem ser retilíneos unidos por curvas de concordância facilmente desobstruíveis, não sendo necessário proceder à sua desmontagem. O troço vertical dos ramais de descarga nunca deve exceder os dois metros de altura. As ligações de vários dispositivos ao mesmo ramal de descarga devem ser independentes. Os ramais de descarga de águas de sabão ou de urinóis podem ser ligados a ramais de descarga de bacias de retrete, sendo que nesta situação deve ser garantida a devida ventilação secundária dos ramais de águas de sabão, evitado assim fenómenos de sinfonagem induzida.



No que toca aos ramais de descarga dos urinóis, estes devem ser independentes dos restantes dispositivos, havendo a hipótese de poderem ser ligados aos ramais de águas de sabão por caixas de reunião. A ligação dos ramais de descarga aos tubos de queda deve ser feita através de forquilhas e aos colectores prediais através de forquilhas ou câmaras de inspeção. São proibidas ligações de ramais de descarga de bacias de retrete e de águas de sabão, no mesmo plano horizontal do tubo de queda, com forquilhas de ângulo de inserção superior a 45° (DR-nº23/95, 1995).

#### **2.2.1.3. Ramais de ventilação**

O objectivo da utilização dos ramais de ventilação é a manutenção do fecho hídrico nos sifões sempre que este não esteja assegurado pelas regras impostas pelo Regulamento Geral Português (DR-nº23/95, 1995).

Os ramais de ventilação, tal como os de descarga, devem ser constituídos por troços retilíneos, verticais e ascendentes, até atingirem uma altura mínima de 15 centímetros acima do nível superior do dispositivo sanitário mais elevado a ventilar por esse ramal. A ligação à coluna de ventilação deve ser feita por troços com uma inclinação mínima de 2%, com o objetivo de facilitar o escoamento da água condensada para o ramal de descarga.

A ligação do ramal de ventilação ao ramal de descarga deve estar a uma distância mínima de duas vezes o diâmetro deste ramal e no máximo ao indicado na Tabela 2 referente ao ANEXO XVI do Regulamento Geral Português. O diâmetro dos ramais de ventilação não deve ser menor que dois terços do diâmetro dos respetivos ramais de descarga (DR-nº23/95, 1995) e não devem diminuir no sentido ascendente.

## ANEXO XVI

### Distâncias máximas entre os sifões e as secções ventiladas para escoamento a secção cheia

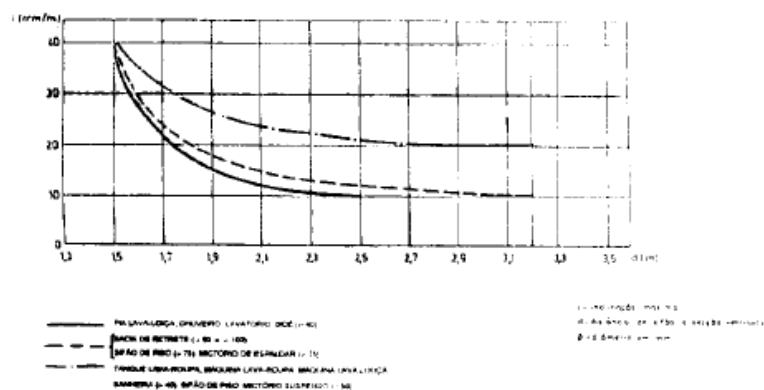


Tabela 2. ANEXO XVI – Distâncias máximas entre os sifões e as secções ventiladas para escoamento a secção cheia (DR-nº23/95, 1995)

#### 2.2.1.4. Tubos de queda

Os tubos de queda, para além de servirem para a ventilação das redes predial e pública, têm como principal objetivo a condução das águas residuais domésticas desde os ramais de descarga até aos coletores. A razão entre a área ocupada pela massa líquida e a área da secção interior é denominada por taxa de ocupação num tubo de queda. (DR-nº23/95, 1995)

O traçado dos tubos de queda deve ser vertical, formando apenas um troço reto. Se não for possível evitar mudanças de direção, estas devem ser feitas por curvas de concordância, sendo que a translação não deve ultrapassar dez vezes o diâmetro do tubo de queda. Se este valor for ultrapassado, deve-se considerar o troço intermédio, com baixa inclinação, como um coletor predial. (DR-nº23/95, 1995)

As aberturas para o exterior dos tubos de queda de águas residuais devem obedecer a determinadas regras. Estas aberturas devem localizar-se 50 cm acima da cobertura do edifício ou, quando esta for em terraço, a 2 metros acima do seu nível. Devem também exceder pelo menos 20 centímetros do capelo da chaminé; elevar-se, no mínimo, 1 metro acima das vergas dos vãos de qualquer porta, janela ou fresta de tomada de ar, situadas a

uma distância máxima de 4 metros. Deverá, ainda, ser protegida com rede para impedir a entrada de matérias sólidas, conforme se pode verificar na Figura 6 (DR-nº23/95, 1995).

#### ANEXO XX

##### Abertura para o exterior de tubos de queda de águas residuais domésticas

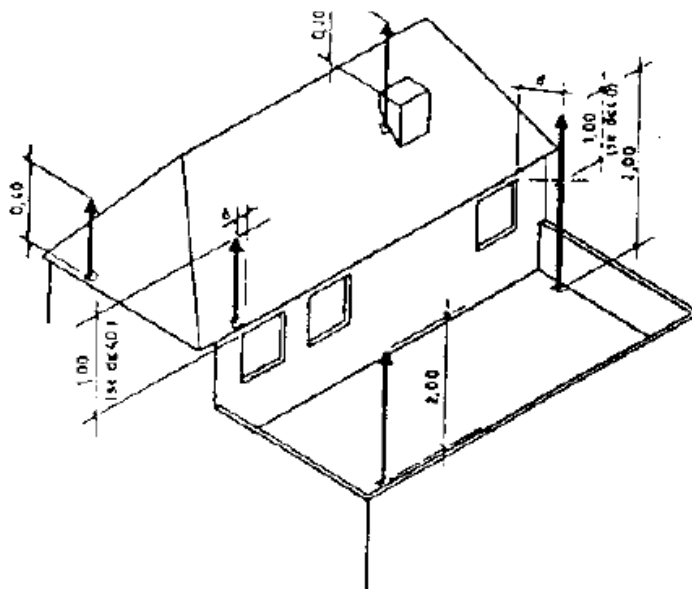


Figura 6. ANEXO XX – Valores mínimos do prolongamento do tubo de queda acima da cobertura (m) (DR-nº23/95, 1995)

O diâmetro nominal dos tubos de queda de águas residuais, sejam elas domésticas ou pluviais, não pode ser inferior ao maior dos diâmetros dos ramais a eles ligados, sendo que o mínimo deve ser 50 milímetros. Este diâmetro deve ser constante em toda a sua extensão. É obrigatório a instalação de uma coluna de ventilação sempre que o caudal de cálculo nos tubos de queda, com uma altura mínima de 35 metros, seja maior que 700 l/mim

#### 2.2.1.5. Coletores prediais

O objetivo dos coletores prediais é a recolha das águas residuais provenientes dos tubos de queda, de condutas elevatórias e de ramais de descarga localizados no piso superior adjacente e a condução das mesmas para outro tubo de queda ou para um ramal de ligação.

O diâmetro nominal dos coletores prediais não deve ser inferior ao maior dos diâmetros das tubagens a eles ligadas, sendo que o mínimo deverá ser 100 milímetros. A inclinação dos coletores deve estar compreendida entre 10 e 40 mm/m, podendo (DR-nº23/95, 1995).

O traçado dos coletores prediais deve obedecer a determinadas condições. Tais como ser retilíneo, tanto em planta como em perfil, se os coletores estiverem enterrados devem ser implantadas câmaras de inspeção no seu início no caso de mudanças de direção, de inclinação, de diâmetro e nas confluências. Se os coletores forem instalados à vista, em vez das câmaras de inspeção, devem haver curvas de transição, reduções, forquilhas e bocas de limpeza localizadas em pontos apropriados, de modo a facilitar a manutenção. As câmaras ou bocas de limpeza não podem exceder os 15 metros de distância entre si (DR-nº23/95, 1995).

## 2.2.2. Contexto da Norma Europeia EN 12056

### 2.2.2.1. Generalidades

A existência da Norma Europeia faz prever diferenças entre esta e o Regulamento Português

A Norma Europeia EN 12056-2 é aplicável aos sistemas de drenagem de águas residuais domésticas, comerciais e industriais. Esta norma teve em atenção a diversidade de sistemas de distribuição de águas e drenagem predial na Europa.

A EN 12056 está dividida em 5 partes. A primeira aborda os requisitos gerais dos sistemas de drenagem no interior de edifícios. A segunda parte abrange os esquemas e cálculo da rede predial. A terceira descreve o esquema e cálculo da drenagem em telhados ou coberturas de um edifício. A quarta parte abrange as estações elevatórias de águas residuais. Por fim a última parte é sobre toda uma sequência de instalações, testes, instruções de operação, manutenção e uso a que a rede predial se encontra sujeita (EN-12056, 2000).

### 2.2.2.2. Norma Europeia EN 12056 – Parte 2: Esquemas e cálculo da rede predial

Nesta parte da Norma Europeia encontram-se os principais requisitos relativamente ao cálculo e esquemas a que o sistema de drenagem de águas residuais deve obedecer.

Pela grande diversidade de sistemas de drenagem a Norma Europeia EN-12056 cita quatro sistemas essenciais, sendo que cada um deles pode assumir diversas configurações relativamente à ventilação do tubo de queda e dos ramais de descarga.

Devido a variações das especificações desta Norma, torna-se imperativa a consulta de regulamentos nacionais e locais que se encontram em Anexo nesta Norma (EN-12056, 2000). É de salientar que o Regulamento Português (RGSPDADAR) apenas admite oito diferentes sistemas e configurações para a rede de drenagem predial.

Segundo a (EN-12056, 2000) os sistemas podem ser divididos em quatro tipos diferente:

- Sistema I – Sistemas com um único tubo de queda (águas cinzentas e águas negras) com escoamento a meia secção nos ramais de descarga;
- Sistema II – Sistema com um único tubo de queda, com altura da lâmina líquida até 0,7 do diâmetro nos ramais de descarga;
- Sistema III – Sistema com um único tubo de queda, com escoamento a secção cheia nos ramais de descarga e ligação individual de cada ramal ao tubo de queda;
- Sistema IV – Sistema com dois tubos de queda (águas cinzentas e águas negras), sendo que nos ramais pode ser como qualquer sistema anteriormente mencionado (EN-12056, 2000).

Cada sistema pode ser configurado de diversas maneiras, tendo em conta a necessidade de controlar a pressão na tubagem. As principais configurações estão descritas abaixo (EN-12056, 2000).

Na configuração da Figura 7, observa-se que o controle da pressão no tubo de queda é efetuado através de ventilação primária, sendo que este poderá abrir na atmosfera. No caso de não ser possível, usam-se válvulas de admissão de ar (EN-12056, 2000).

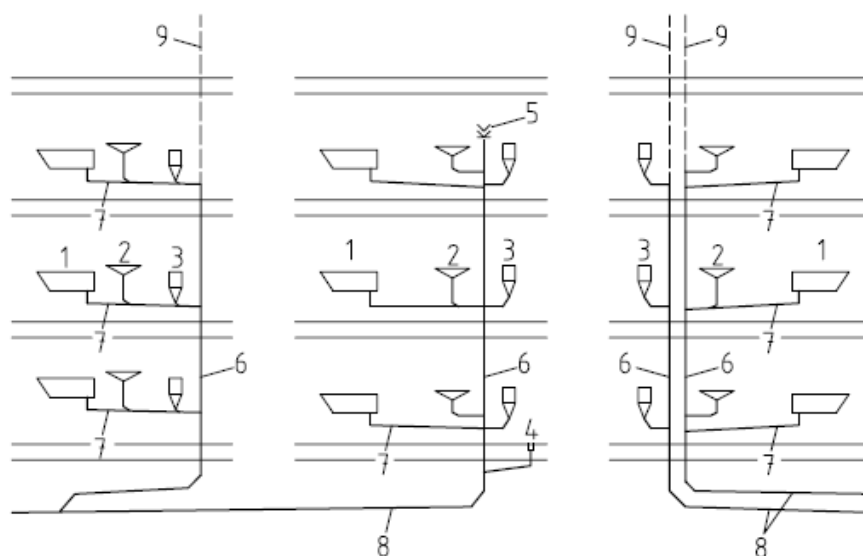


Figura 7. Configuração do sistema com ventilação primária (EN-12056, 2000)

Legenda:

- 1 – Banheira
- 2 – Lavatório
- 3 – Bacia de retrete
- 4 – Ralo de piso
- 5 – Válvula de admissão de ar
- 6 – Tubo de queda
- 7 – Ramal de descarga
- 8 – Coletor Predial
- 9 – Tramo de ventilação

Na configuração da Figura 8, o controle da pressão no tubo de queda é efetuado pelas colunas de ventilação ou ramais de ventilação. No caso de não ser possível, recorre-se ao uso de válvulas de admissão de ar (EN-12056, 2000).

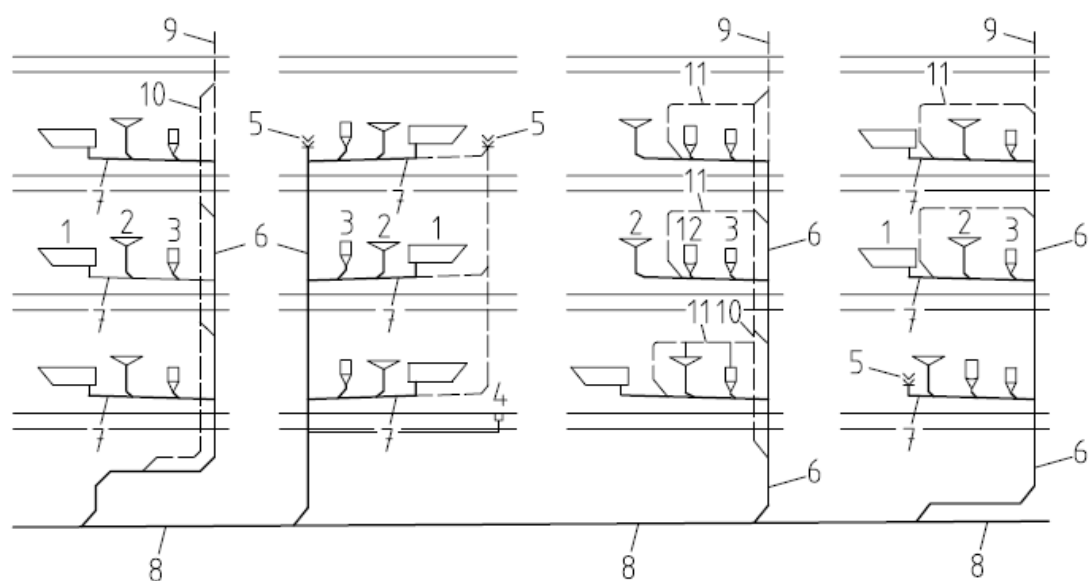


Figura 8. Configuração do sistema com ventilação secundária (EN-12056, 2000)

Legenda:

- 1 – Banheira
- 2 – Lavatório
- 3 – Bacia de retrete
- 4 – Ralo de piso
- 5 – Válvula de admissão de ar
- 6 – Tubo de queda
- 7 – Ramal de descarga
- 8 – Coletor predial
- 9 – Tramo de ventilação
- 10 – Coluna de ventilação
- 11 – Ramal de ventilação
- 12 – Mictório

Em relação às configurações para a ventilação de ramais existem, igualmente, duas possíveis. A configuração representada na Figura 9 refere que o controlo de pressões nos ramais de descarga é feito pelo escoamento de ar do próprio ramal (EN-12056, 2000).

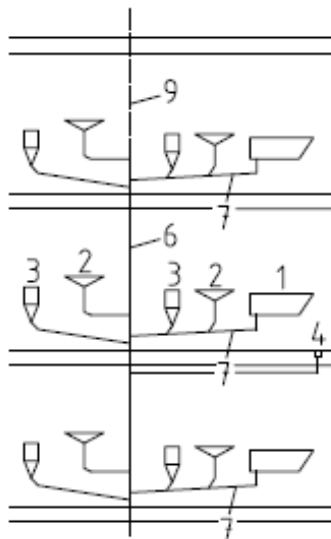


Figura 9. Configuração de ramais de descarga não ventilados (EN-12056, 2000)

Legenda:

1 – Banheira

2 – Lavatório

3 – Bacia de retrete

4 – Ralo de piso

6 – Tubo de queda

7 – Ramal de descarga

9 – Tramo de ventilação



Na Figura 10 pode-se observar que o controlo de pressões nos ramais é efetuado através dos ramais de ventilação a), ou por válvulas de admissão de ar b) (EN-12056, 2000).

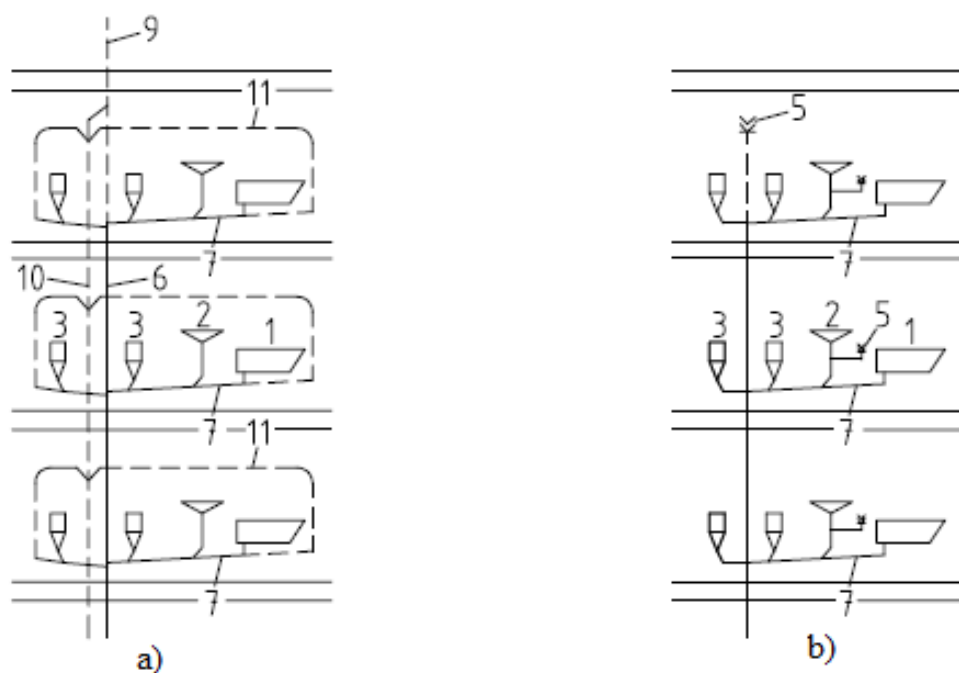


Figura 10. Configuração de ramais de descarga ventilados (EN-12056, 2000)

Legenda:

- 1 – Banheira
- 2 – Lavatório
- 3 – Bacia de retrete
- 5 – Válvula de admissão de ar
- 6 – Tubo de queda
- 7 – Ramal de descarga
- 9 – Tramo de ventilação
- 10 – Coluna de ventilação
- 11 – Ramal de ventilação

### 2.2.3. Materiais das tubagens

Nos artigos 224º e 237º do Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição e de Drenagem de Águas Residuais encontram-se descritos a natureza dos materiais tanto dos ramais de ventilação como dos tubos de queda. Tanto para uns como para outros, os materiais podem ser PVC rígido, ferro fundido ou outros que reúnam as necessárias condições de utilização (DR-nº23/95, 1995).

Por razões económicas, as tubagens metálicas não são muito utilizadas. Estas podem ser instaladas à vista, embutidas, em caleiras, galerias ou tetos falsos e possuem proteção contra a oxidação à base de revestimentos betuminosos ou tintas de zinco (Lança, 2008).

O material mais utilizado para as tubagens é, sem dúvida, o PVC – Policloreto de Vinil. Este deve ser utilizado para a drenagem de águas residuais frias, ou seja para um Temperatura inferior a 20º C, sendo que existem tubagens neste materiais para águas quentes, com um aumento da espessura. Estas tubagens, tal como as de ferro fundido, podem ser instaladas à vista, em caleiras, galerias ou tetos falsos (Lança, 2008).

Outro material utilizado para as tubagens é o grés cerâmico, mas, neste caso apenas para casos de tubagens enterradas com um recobrimento superior a 50 centímetros e a distâncias superiores a 2 metros (Lança, 2008).

## 2.3. Análise do escoamento em ramais de descarga

### 2.3.1. Introdução

O manual técnico italiano de Valsir (Valsir, 2009) considera que o tipo de acessórios selecionados para as ligações de ramais de drenagem os tubos de queda influencia tanto o caudal escoado como o ruído provocado por este caudal no sistema. Estas ligações podem ser efetuadas através de uma forquilha com um determinado ângulo segundo a Figura 11.

Na Figura 11 (a) forquilha visível é do tipo forquilha de esquadria ou “T”, que é caracterizada por formar ângulos de valores entre 87º e 88,5º. Esta solução é a mais aconselhada pois facilita a circulação do ar, evita a deposição de matéria sólida no degrau de ligação, mantém a velocidade do caudal de drenagem a um nível baixo e possui níveis de ruídos consideravelmente baixos em comparação com outras ligações.

A Figura 11 (b) mostra um ângulo formado pela forquilha e pelo próprio tubo de queda a 45° o que permite maiores escoamentos, mas em contrapartida confina a circulação de ar e provoca um aumento dos níveis de ruído no interior da tubagem. Este ruído deve-se ao facto do caudal ser transportado a uma velocidade elevada que provoca o choque contra a parede vertical do tubo de queda. Outras dos inconvenientes do uso deste tipo de forquilhas, é que são mais caras, em relação à solução apresentada da Figura 11 (a).

Na Figura 11 (c) é apresentado um caso que deve ser evitado na maioria das vezes já que o risco de vedação hidráulica na zona de ligação com o tubo de queda é bastante elevado o que possibilita os fenómenos de auto sifonagem dos dispositivos ligados ao ramal de descarga. Da mesma maneira que a solução apresentada na Figura 11 (b), esta última solução também vai provocar um aumento da velocidade do caudal e por consequência o aumento dos níveis de ruído no interior da tubagem devido ao choque do caudal escoado contra as paredes do tubo de queda.

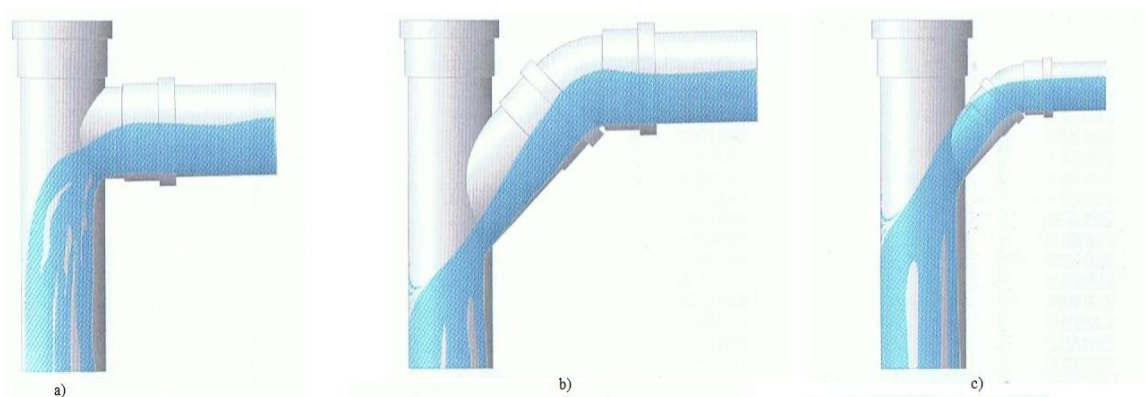


Figura 11. Tipos de ligação ao tubo de queda (Valsir, 2009)

Segundo (Torres, 1999) existem determinados fenómenos que ocorrem nos ramais de descarga que se devem ter em conta, que são determinantes para o dimensionamento destes ramais:

- Nos ramais a que converge o caudal de um grande número de aparelhos, o escoamento pode-se considerar uniforme, ou seja, a capacidade do ramal é equivalente ao caudal escoado a meia secção em regime uniforme;

- A velocidade final num tubo de queda (ou seja a velocidade é máxima quando o escoamento atinge a entrada do esgoto) é superior à do regime uniforme verificada na tubagem de jusante, surgindo assim a formação de um ressalto. Este ressalto ocorre a uma distância do tubo de queda de mais ou menos dez vezes o diâmetro desse tubo. O fenómeno do ressalto vai reduzir a secção de ar no interior do ramal;
- O ar move-se no interior do ramal “forçado” pelo esgoto e convém que o caudal de ar a ser transportado seja máximo. Isto acontece quando o escoamento é a meia secção.

### 2.3.2. Disposições construtivas

Num ramal de descarga tipo devem ser observadas determinadas disposições construtivas tais como:

- A ligação do tubo de queda com o ramal deverá ser suave, ou seja com uma curva de raio longo;
- A câmara de inspeção deve situar-se à distância  $L$  que corresponde a cerca de dez vezes o diâmetro do tubo de queda (Figura 12);
- A ventilação secundária terá origem na câmara de inspeção, quando esta existir;

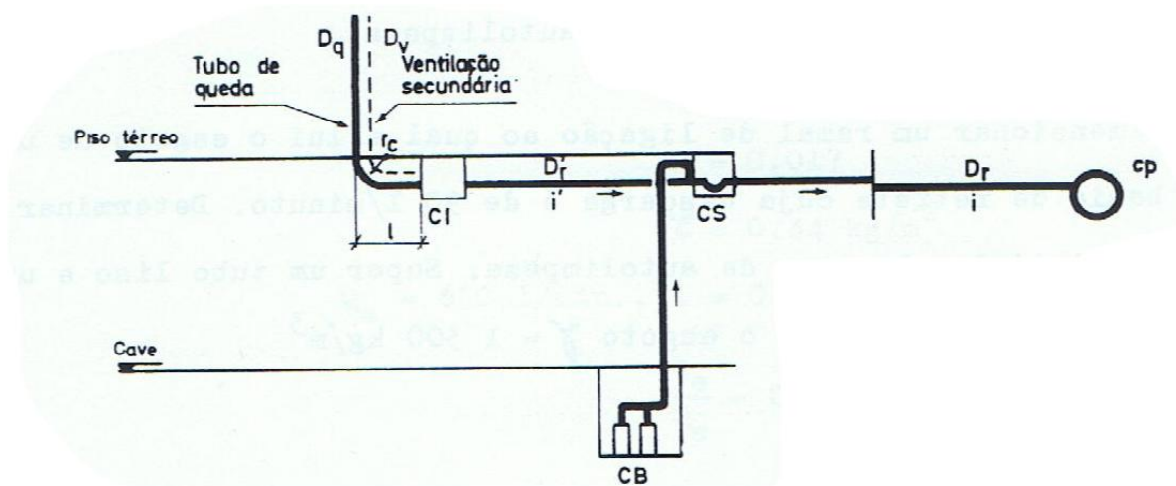


Figura 12. Ramal de Ligação tipo (Torres, 1999)

### 2.3.3. Características do escoamento de forma circular

Quando ocorre a entrada de água num tubo observa-se, segundo (Swaffield e Galowin, 1992) um arco vertical que invade a parede do tubo oposta à entrada do escoamento. Posteriormente verifica-se que o escoamento passa a ser circular e, ao longo da sua descida pelo tubo, vai provocando vórtices e consequentemente a velocidade passará a ser máxima no final do tubo. Aparentemente é estranho o facto da velocidade de escoamento de forma circular ser independente da altura do sistema de drenagem. Porém, este resultado é facilmente explicado, pois o escoamento atinge a velocidade final quando as forças de atrito na parede são compensadas por forças gravíticas. Na Figura 13 observa-se a evolução da espessura da lâmina de água ao longo de todo o tubo e as condições no final do mesmo, onde a velocidade de escoamento de turbulência é nulo.

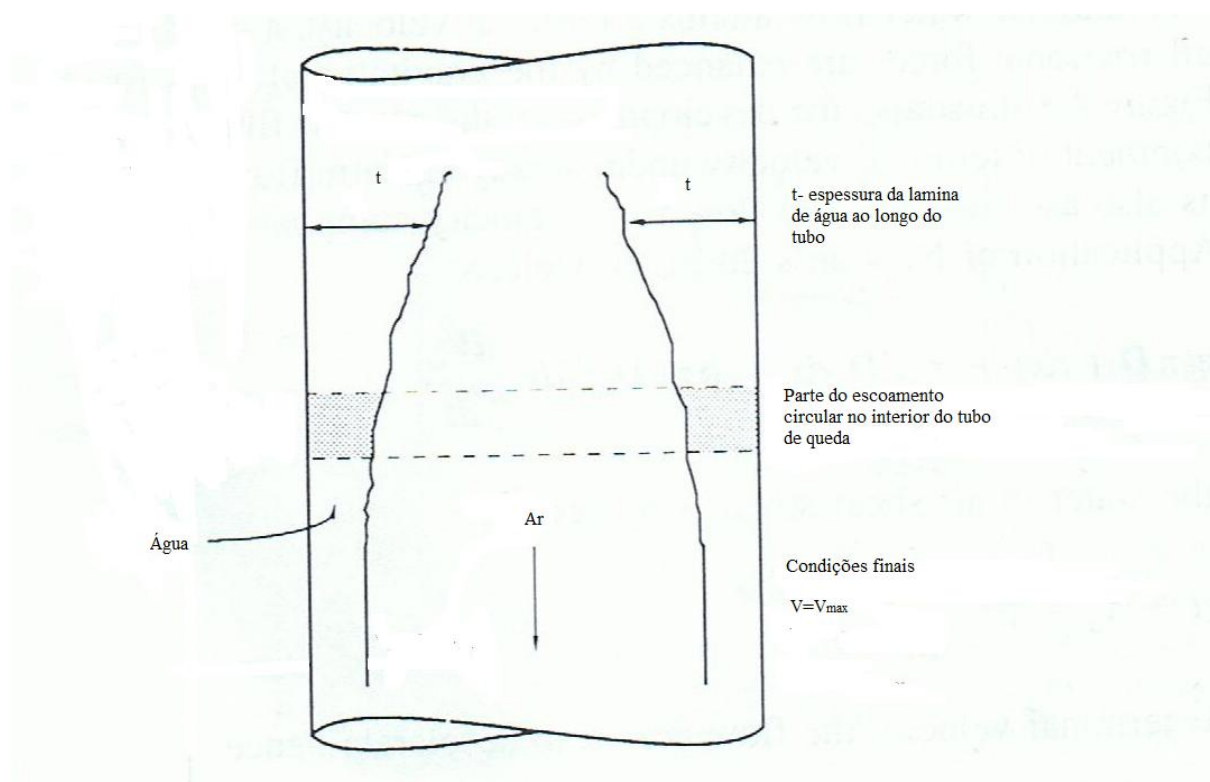


Figura 13. Desenvolvimento do escoamento circular ao longo do tubo e as respectivas condições no término do tubo (Swaffield e Galowin, 1992)

### 2.3.4. Mecanismos de escoamentos verticais

A Figura 14 ilustra as tubagens com descarga na base proveniente de um certo número de andares de um edifício. A descarga de um aparelho provoca um escoamento normal de superfície livre junto das ligações horizontais do ramal. Quando o caudal atinge o respetivo tubo, ocupa a parte oposta deste e inicia um escoamento com alguma turbulência. Devido a isto o escoamento segue pelas paredes da tubagem e é estabelecido um escoamento circular.

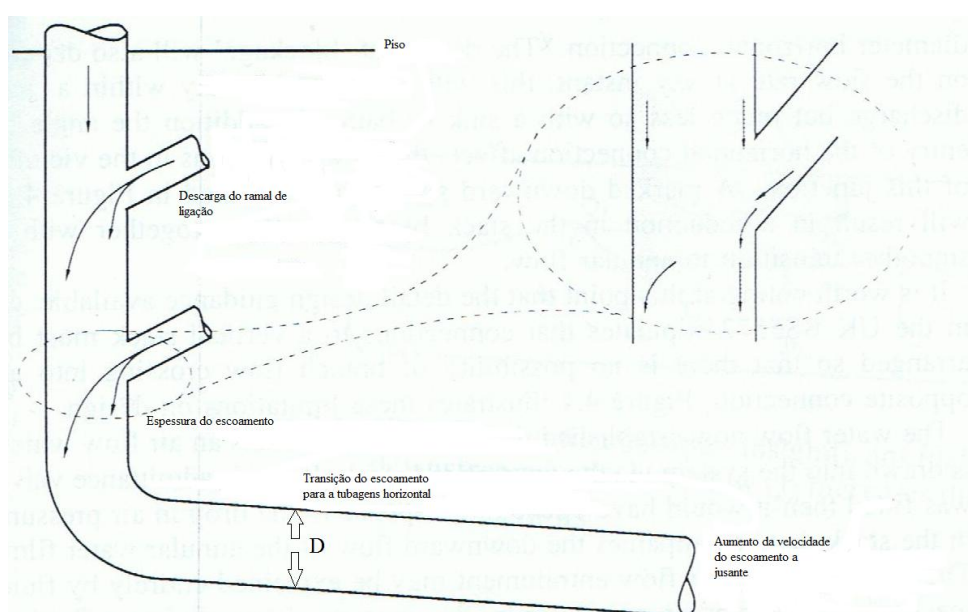


Figura 14. Esquema de um sistema de drenagem vertical com ramais de ligação (Swaffield e Galowin, 1992)

Na Figura 15 observa-se esse escoamento para diferentes diâmetros do ramal. Em ambos os casos nota-se que as respetivas secções transversais permanecem abertas, permitindo a circulação do ar, embora se deva considerar que o escoamento real será variável com o tempo.

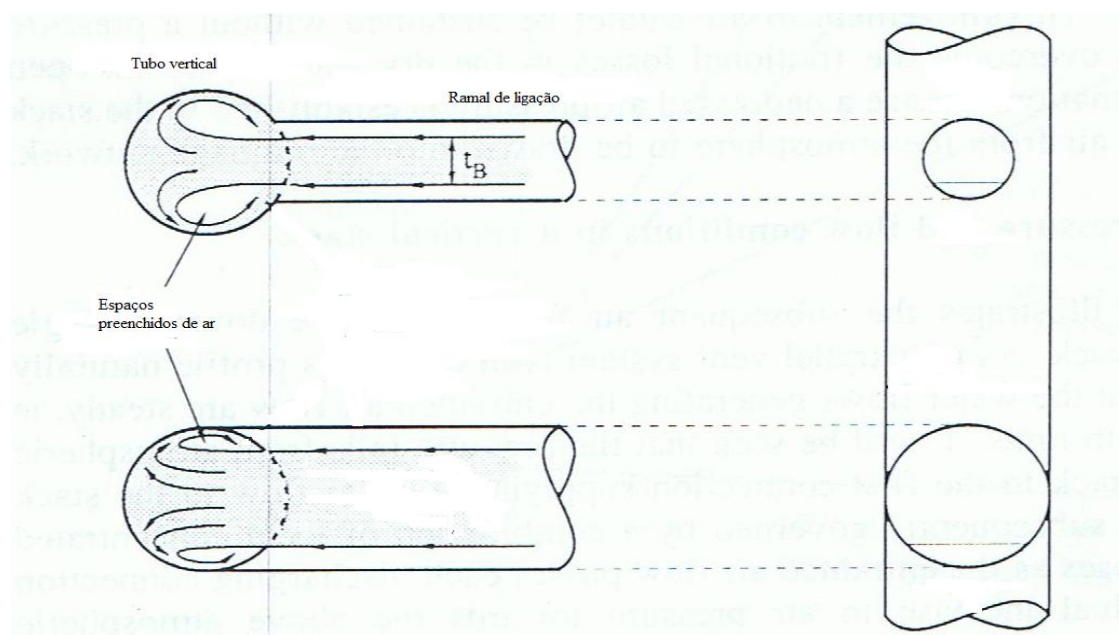


Figura 15. Descarga do escoamento no tubo de queda, vista em corte e em planta.  
(Swaffield e Galowin, 1992)

## 2.4. Estudos anteriormente efetuados

### 2.4.1. Investigação do efeito da configuração das ligações de ramais de descarga a tubos de queda

Segundo (Öngören, Materna, et al., 2005) em causa neste estudo está um típico sistema de drenagem de águas residuais composto por diferentes configurações de ligações de tubagens, nomeadamente ligações em curva.

Os seus ensaios foram realizados no Laboratório da Geberit usando um sistema com altura de 8 metros ligado a um ramal de descarga. A simulação é feita através do bombeamento de água de um sistema de lavagem para a tubagem lateral com o objetivo de criar as condições de escoamento previstas num sistema real de drenagem de águas residuais. Denota-se que, inicialmente, existia uma perda de carga devida à variação da secção transversal da tubagem, do escoamento verificado nas duas tubagens e do comprimento total do tubo principal.

A Figura 16 (a) apresenta a configuração geral do sistema de drenagem em estudo.

Para a investigação da influência das diferentes configurações na ligação de tubagens usou-se uma variedade de acessórios ao nível do 4º andar, conforme a Figura 16 (a). Grande parte dos testes foi realizada com uma entrada com um ângulo de 45º (Figura 16 (b)). Os aspetos mais relevantes estão indicados na Figura 16 (b), tais como o diâmetro do tubo de queda e do ramal de descarga.

Além da entrada formar um ângulo de 45º com o tubo, utilizaram-se duas configurações, como ilustra a Figura 16 (c), uma com entrada em linha reta, a formar um ângulo de aproximadamente 90º, e outra com uma entrada curvilínea. (Öngören, Materna, et al., 2005)

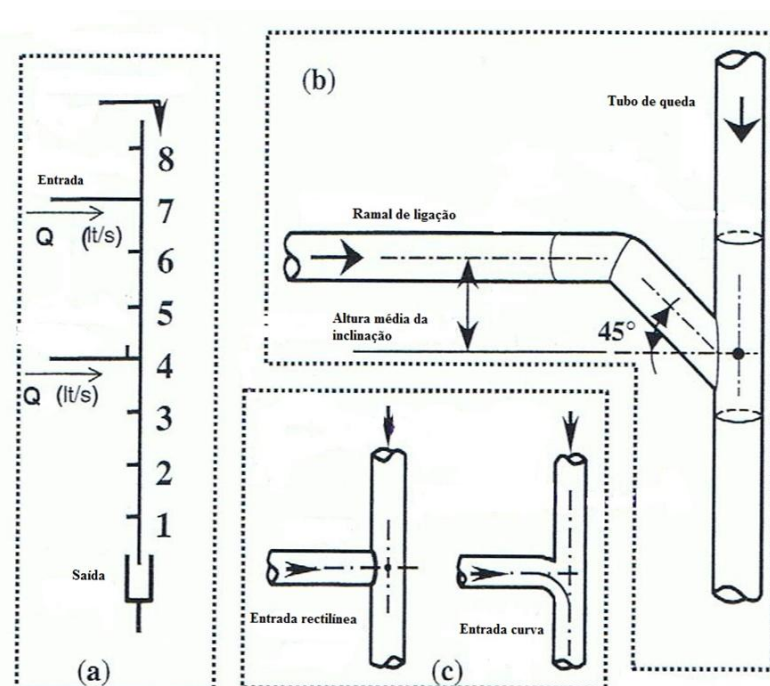


Figura 16. a) Configuração geral do sistema de drenagem em estudo; b) Ligação do ramal de drenagem ao tubo de queda; c) Diferentes configurações utilizadas na ligação de ramais.

(Öngören, Materna, et al., 2005)

A Figura 17 representa o comportamento do escoamento em dois tipos de ligação diferentes, ambos fazem um ângulo de 45º mas na Figura 17 (a) a altura do desvio é menor que na Figura 17 (b) logo o escoamento entra no tubo vertical de uma forma diferente.



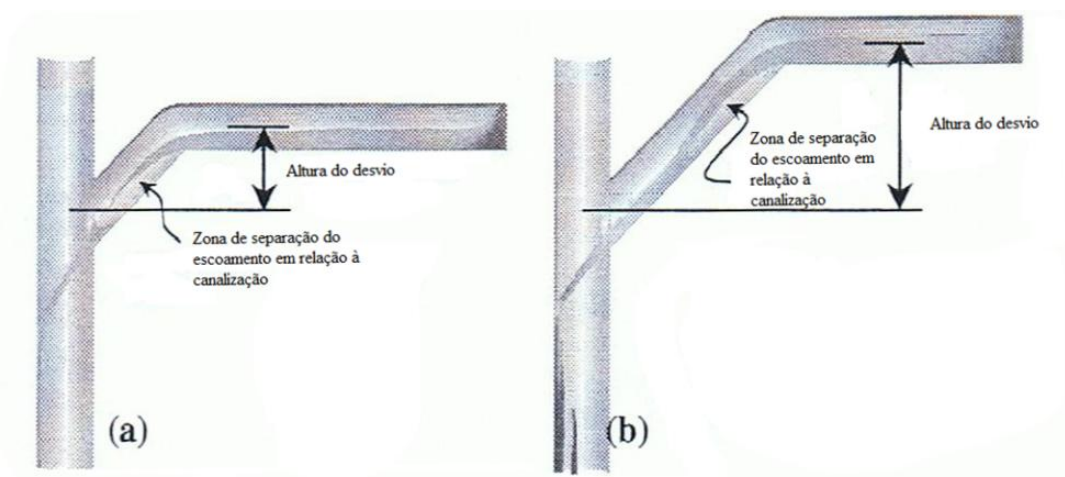


Figura 17. Comportamento do escoamento no interior do tubo com ligação de 45°  
(Öngören, Materna, et al., 2005)

Este trabalho teve como objetivo caracterizar o efeito das formas geométricas das ligações e do tipo de escoamento, relativos à perda de carga num tubo de queda com uma ligação a um ramal que foi bem evidenciado.

Ainda não existe uma norma que regule um tipo de solução com configuração específica, havendo, assim, uma discussão sobre qual será a ligação ideal de tubagens em sistemas de drenagem de águas residuais.

Para esse estudo recorreu-se ao método computacional, o *Computational Fluid Dynamics (CFD)*, que tem sido um método bastante fiável para prever e analisar o escoamento em ligações dos sistemas de drenagem predial. Em particular, neste caso, simula o escoamento nos modelos de ligação de ramais de drenagem e analisa as suas características que estão relacionadas com a perda de carga no ramal. (Öngören, Materna, et al., 2005)

#### 2.4.2. Simulação através do método computacional (CFD) para o estudo das características de um sistema de drenagem sifonado

Foi feito, também, outro estudo sobre a temática das ligações de ramais de drenagem mas desta vez aplicado a sistemas de drenagem sifonados.

(Kajiya, Mitsunaga, et al., 2008) Adotaram o método computacional usado também por (Öngören, Materna, et al., 2005), para explicar as características fundamentais do

escoamento de um sistema de drenagem com sifão. Este tipo de sistema de drenagem, ao contrário do que acontece com um sistema de drenagem por gravidade, não tem inclinação suficiente que permita a drenagem mas admite dimensões de tubagens muito pequenas o que reduz a dimensão da canalização em relação ao método convencional de drenagem por gravidade. No entanto os sistemas de drenagem por sifão estão constantemente sob desenvolvimento. Assim, este estudo adota, também, o método computacional de análise, *CFD*, para avaliar as características fundamentais do escoamento de um sistema de drenagem com sifão. A aplicabilidade deste método é investigada através da comparação dos resultados da velocidade no interior da tubagem e no fim da mesma.

#### 2.4.2.1. Análise da velocidade final à saída do tubo de queda

Neste caso, vai ser aplicada a análise *CFD* simultaneamente. Os resultados irão indicar se o método *CFD* é viável como meio de análise do escoamento.

A figura 10 apresenta a comparação da variação temporal entre a velocidade analítica, através do método *CFD*,  $v_a$ , e a velocidade experimental no interior do tubo,  $v_e$ .

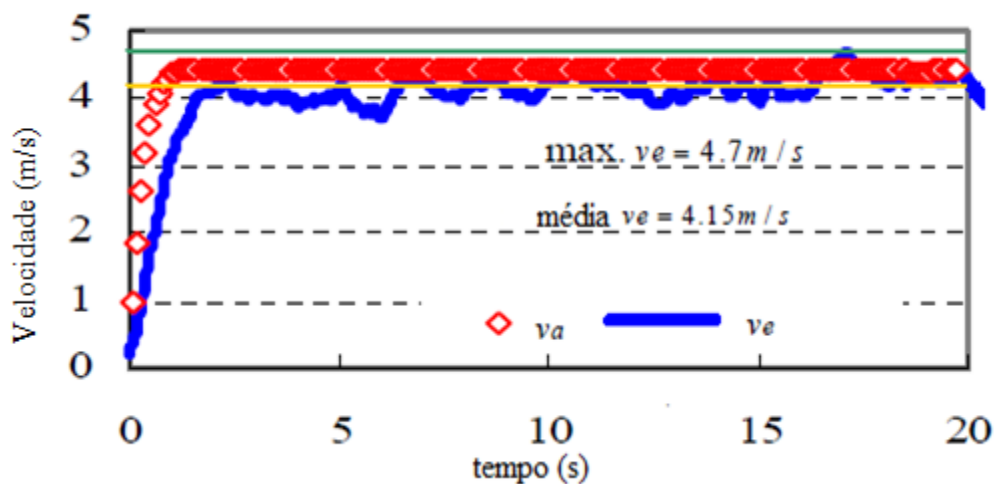


Figura 18. Comparação entre a velocidade experimental e a velocidade analítica. (Kajiya, Mitsunaga, et al., 2008)

A velocidade experimental verificada foi de entre os 4.2 e os 4.4 m/s.

Embora a comparação entre a velocidade experimental e a velocidade analítica pelo método CFD tenha revelado algumas diferenças, no geral, os valores da velocidade final estão de acordo um com o outro. Assim pode ser dizer que foi verificada a análise pelo método CFD. (Kajiya, Mitsunaga, et al., 2008)

#### **2.4.2.2. Análise do escoamento em tubagens com drenagem sifonada**

Esta análise tem como objetivo estabelecer um método de avaliação para estimar a velocidade no interior dos tubos sejam eles verticais ou horizontais. Se o fenómeno de drenagem com sifão com um escoamento de secção cheia se verificar, então conclui-se que haverá resultados positivos da análise com recurso ao método CFD. (Kajiya, Mitsunaga, et al., 2008)

Deste estudo não se conseguiram retirar grandes informações diretamente relacionadas com o tema em estudo para a dissertação.

#### **2.4.2.3. Conclusões**

Todos estes estudos efetuados levaram a crer que as características do escoamento nos tubos de queda analisadas pelo método CFD forneceram bons conhecimentos baseados nesses mesmos resultados. A análise CFD foi investigada com excelente produtividade no modelo de drenagem com sifão. (Kajiya, Mitsunaga, et al., 2008)

### **2.4.3. Estudo empírico sobre a velocidade final num sistema de drenagem**

Segundo (Cheng, Liao, et al., 2009) a distribuição da pressão de ar varia conforme o caudal  $Q_d$  escoado. Este caudal é um parâmetro essencial para explicar o fenómeno do escoamento no tubo de queda. A pressão do ar no sistema de drenagem é provocada pela interação entre o ar e a água existentes na própria tubagem.

A Figura 19 mostra o estado do caudal escoado e da sua modificação ao longo do tubo de queda.

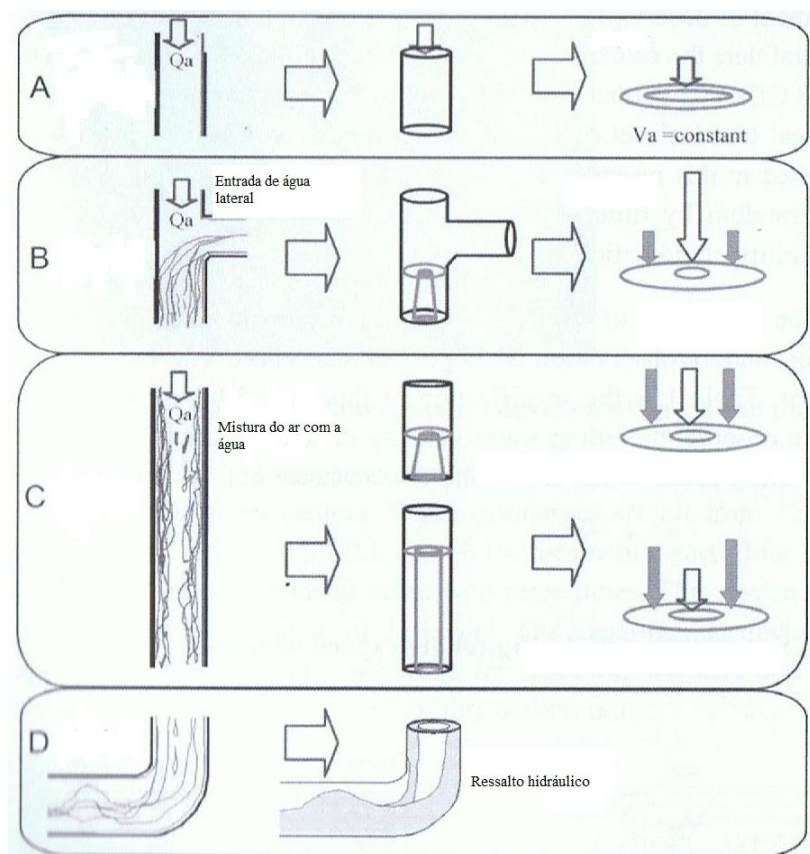


Figura 19. Interação ar-água no interior do tubo de queda (Cheng, Liao, et al., 2009).

A Figura 19 mostra o mecanismo de interação de ar/água no interior de um tubo de queda. A velocidade de queda da água é dominada principalmente por três interações de equilíbrio. São elas a força gravítica, a força de atrito no interior do tubo e a interação do ar na passagem da água numa dada secção. Quando o escoamento no interior do tubo atingir a situação de velocidade final significa que a interação no interior da tubagem atinge a situação de equilíbrio e a ação das forças é totalmente equilibrada. (Cheng, Liao, et al., 2009)

#### 2.4.4. Os efeitos do uso de sanitários eficientes na concepção de sistemas de drenagem predial – Estados Unidos da América

Cada vez mais existe em todo o mundo a necessidade da poupança de água, e os Estados Unidos da América não são exceção. Impõe-se então a importância da implementação de recursos que respondam a estas necessidades.

O "mundo" da hidráulica predial viu a necessidade de criar dispositivos eficientes que poupassem o máximo de água possível. Torneiras e chuveiros de baixo caudal, autoclismos de baixo volume e acima de tudo criar uma mentalidade à população geral de que estas poupanças não são uma opção mas sim uma urgência (AWE, 2011).

Apesar de alguns relatos mais radicalistas associarem a eficiência hídrica à causa das interrupções nas descargas nos sistemas de drenagem predial, tal ainda não foi provado, pois essas interrupções já existiam antes da introdução das medidas de eficiência hídrica. Essas interrupções eram causadas muito por falhas de projeto, sistemas de drenagem antigos ou até mesmo linha de drenagem quebradas.

Outro problema que provoca a interrupção nos sistemas de drenagem predial é o fato de existir caudal excessivo de águas residuais e até mesmo a combinação com as águas pluviais.

Mais raro, mas também possível de acontecer é quando ocorrem períodos de seca extrema ou condições adversas não havendo a poupança da água.

#### 2.4.5. Determinação da velocidade final do escoamento em sistemas de drenagem através de simulação

Para a determinação da velocidade final do escoamento em sistemas de drenagem volta a ser usado o método CFD, método computacional da análise da dinâmica de fluidos. Este já foi utilizado noutros estudos, não mencionados na presente dissertação, com o objetivo de simular a distribuição da pressão de ar dentro de um sistema de drenagem vertical, mas neste caso tem como finalidade estimar a velocidade final do caudal escoado no sistema de drenagem. Será previsível que a velocidade média do caudal numa dada secção ao longo da secção do tubo seja igual à média da velocidade verificada ao longo da de todo o tubo em causa.

Este estudo, então vai tentar descobrir o comportamento do sistema ar/água num sistema de drenagem usando a técnica do CFD aplicada a quatro diferentes escoamentos. (Lee, Wong, et al., 2010)

### 2.4.5.1. Metodologia

O ensaio foi efetuado num sistema de drenagem com 20 metros de altura e com uma ligação a um ramal a 15 metros de altura da base. Essa ligação tem de comprimento 1 metro e uma inclinação de 2.5%. O tipo de material utilizado é o PVC com diâmetro de 100mm tanto no tubo de queda como na ligação do ramal a este. (Lee, Wong, et al., 2010)<sup>7</sup>

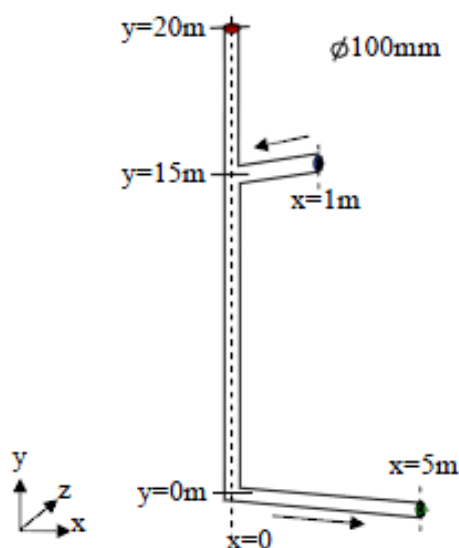


Figura 20. Representação esquemática do sistema de drenagem (Lee, Wong, et al., 2010)

Foram comparados resultados usando caudais de 1 l/s, 2 l/s, 3 l/s e 4 l/s em secção parcialmente cheia, como mostra a Figura 21.

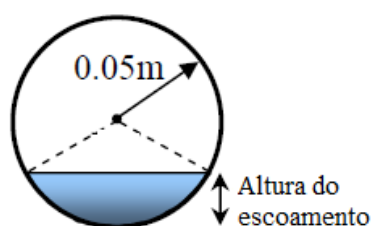


Figura 21. Secção Transversal do ramal de ligação. (Lee, Wong, et al., 2010)

### 2.4.5.2. Resultados

A velocidade de escoamento na ligação do ramal com o tubo de queda, bem como os valores de altura da rugosidade são expressos na Tabela 3.

Caudais (l/s)	Velocidade na ligação ramal/tubo de queda (m/s)	Rugosidade (m)
1	0,921	0,004335
2	1,124	0,005842
3	1,258	0,006915
4	1,356	0,007740

Tabela 3. Condição fronteira para diferentes caudais escoados. (Lee, Wong, et al., 2010)

Com este estudo, verificou-se que a velocidade final determinada através do método computacional CFD foi ligeiramente superior aos valores teóricos, como se pode observar na Tabela 4.

Os valores da velocidade final teórica da Tabela 4 foram calculados por equações genéricas. (Lee, Wong, et al., 2010)

Caudal (l/s)	Velocidade final teórica	Velocidade final prevista
1	1,71	2,18
2	2,25	2,49
3	2,64	2,6
4	2,94	3,07

Tabela 4. Resultados obtidos (Lee, Wong, et al., 2010)

Constatou-se também que o método CFD não foi capaz de modelar o problema de caudais pequenos devido à limitação da resolução da grelha do próprio programa de simulação numérica. No entanto, para caudais maiores, a técnica CFD é bem-sucedida e fornece valores detalhados sobre o comportamento do ar e da água que escoam no interior do sistema de drenagem.

A modelação efetuada através do método CFD como já foi referido, foi aplicada em quatro valores de caudais diferentes, todos eles a 4 metros abaixo da ligação do tubo de queda com o ramal de descarga. Nas Figura 22 e Figura 23 apresentam-se os gráficos das curvas de níveis dos valores da velocidade superficial do escoamento obtidos. (Lee, Wong, et al., 2010)

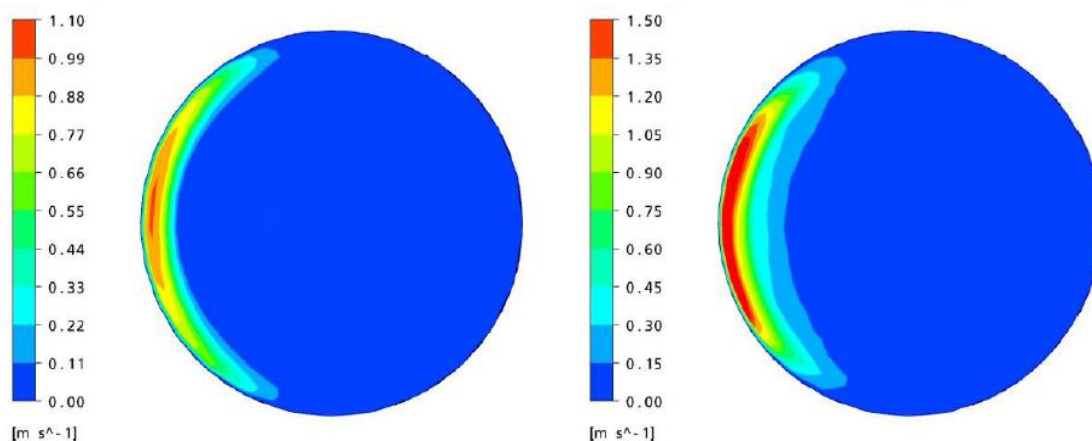


Figura 22. Gráfico de curvas de nível da velocidade superficial verificada para os caudais de 1 l/s e 2 l/s, respetivamente (Lee, Wong, et al., 2010)

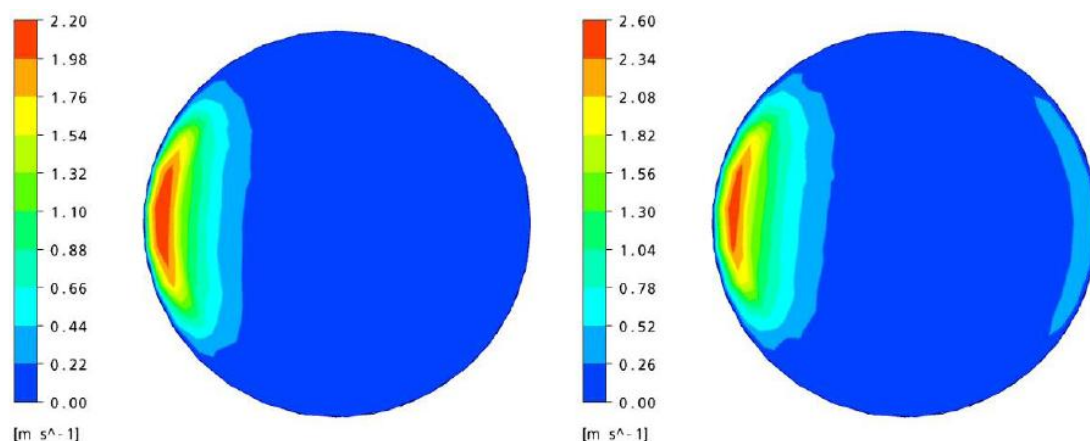


Figura 23. Gráfico de curvas de nível da velocidade superficial verificada para os caudais de 3 l/s e 4 l/s, respetivamente (Lee, Wong, et al., 2010)

### 2.4.5.3. Conclusões

O comportamento do ar e da água foram modelados usando a técnica computacional aplicada diretamente a quatro valores diferentes de caudais. Ao comparar estes valores



obtidos pela simulação matemática com os valores obtidos pelas equações teóricas, chegou-se a um resultado positivo, pelo menos no que toca à fiabilidade do método computacional aplicado ao estudo do comportamento do escoamento em sistemas de drenagem. (Lee, Wong, et al., 2010)

#### 2.4.6. Estudo sobre o desempenho do tubo de queda de um sistema de drenagem predial em pequenos edifícios habitacionais - Japão

No Japão ainda existem problemas em termos do desempenho da drenagem predial de pequenos edifícios, com no máximo três pisos. Muitos desses problemas estão relacionados com possíveis danos no sifão devido à fraca ventilação por parte do sistema de ventilação (Ueno e Otsuka, 2011).

Atualmente no Japão, as regras gerais para a conceção e construção de sistemas de drenagem predial em edifícios pequenos, ainda não estão totalmente regulamentadas, por isso é frequente que as empresas construtoras e imobiliárias usem os seus próprios métodos (Ueno e Otsuka, 2011).

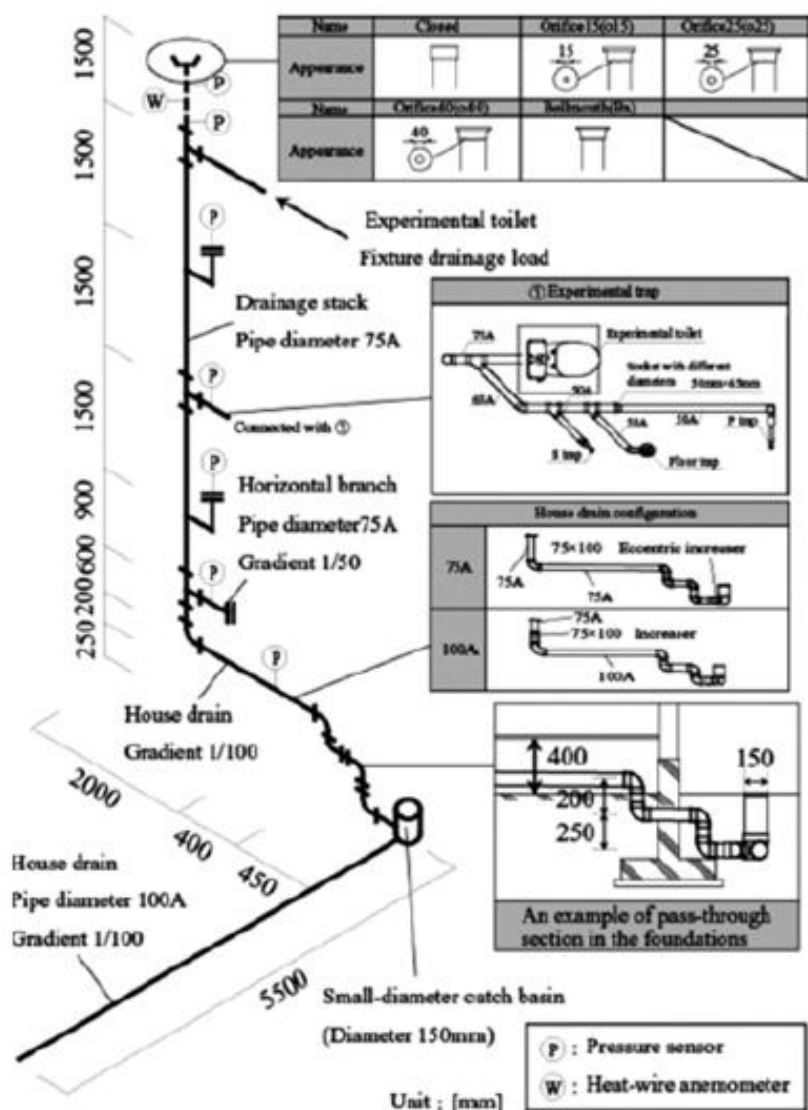


Figura 24. Experiencia no sistema de drenagem predial (Ueno e Otsuka, 2011)

Na Figura 24 encontra-se representado o esquema de um sistema de drenagem predial representativo de um edificio de três andares, neste caso com apenas um tubo de queda que tem ligado a si um único ramal de descarga de WC. O diâmetro do tubo de queda é igual ao do ramal de descarga (Ueno e Otsuka, 2011).

O tubo de ventilação foi utilizado em condições que foram combinadas de maneira diferente conforme o apropriado.

Uma das condições foi ter o tubo de queda fechado sem ventilação, a outra condição seria ter o tubo de queda aberto com um pouco de ventilação usando uma placa com orifícios de 15 mm, 25 mm e 40 mm e ainda uma última condição com uma abertura do

tamanho do diâmetro do tubo de queda, 75mm, terminando o tubo de queda em forma de sino invertido (Ueno e Otsuka, 2011).

Após o estudo (Ueno e Otsuka, 2011) concluíram que para edifícios de dois andares, se a ventilação não for efetuada pelo tubo de ventilação também não é grave uma vez que não afeta o desempenho da drenagem. Mas se passarem a ser três andares e para um tubo de queda de  $\phi 75$ , a ventilação deverá ser garantida pelo tubo de ventilação e este deverá ter pelo menos 25 mm de diâmetro para proporcionar uma ventilação suficiente.



### 3. DESCRIÇÃO DA TORRE HIDRÁULICA

A Torre Hidráulica do Laboratório do Departamento de Engenharia Civil no seu alçado principal está dividida em quatro tubos de queda. Esta torre está equipada com um total de 33 aparelhos sanitários desde bacias de retrete, a lavatórios, bidés, banheiras e urinóis.



Figura 25. Torre Hidráulica do Laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro - localização dos tubos de queda

O primeiro tubo de queda é constituído por duas ligações em T a dois tubos de descarga horizontal também ele de  $\phi 110$ . Um dos tubos de descarga horizontais tem ligado a si uma bacia de retrete, enquanto o outro tubo de descarga, verticalmente oposto, tem ligado a si um lavatório, um bidé, ambos com torneiras convencionais e uma banheira. Este segundo ramal de descarga tem a particularidade de ter duas reduções de secção, uma de  $\phi 110$  para  $\phi 75$  imediatamente antes da ligação com o tubo de queda e outra de  $\phi 75$  para  $\phi 50$  entre o segundo e o terceiro dispositivo como se pode verificar na Figura 26. A inclinação do ramal de descarga é de 1,5%.

Na Tabela 5 apresentam-se os caudais instantâneos regulamentares dos dispositivos do ramal de descarga representado na Figura 26.

Aparelhos Sanitários	Caudais Instantâneos
Lavatório	30 l/min
Bidé	30 l/min
Banheira	60 l/min

Tabela 5. Caudais instantâneos regulamentares (Geberit, 2006)



Figura 26. Ramal de descarga com redução de secção

Neste mesmo tubo de queda encontra-se outra ligação com um ramal de descarga. Este ramal de descarga suporta uma banheira, um bidé e um lavatório. Aqui existe, também uma redução de secção entre a banheira e o bidé de  $\phi 75$  para  $\phi 50$ , sendo que imediatamente antes da ligação ao tubo de queda a secção aumenta de  $\phi 75$  para  $\phi 110$ .

O segundo tubo de queda, também de  $\phi 110$ , tem uma ligação em forquilha que faz um ângulo de  $\cong 45^\circ$  com um ramal de descarga horizontal também de  $\phi 110$ . A este ramal de descarga horizontal estão ligados dois autoclismos da marca Geberit 6R. Esta ligação encontra-se a uma distância da cota soleira de 1,79 metros. Mais abaixo existem uma outra ligação, esta em T com um angulo aproximadamente de  $89^\circ$ , a 0,59 metros de distância da cota soleira. Estão ligados ao ramal de descarga horizontal um autoclismo Geberit de dupla descarga, um urinol da marca Geberit com acionamento através sensor e uma torneira Geberit, temporizada com tempo de utilização de 11,70 segundos. Este ramal de descarga também tem a particularidade de ter duas reduções de secção, uma de  $\phi 110$  para  $\phi 75$  entre o autoclismo e o urinol e de  $\phi 75$  para  $\phi 50$  entre o urinol e a torneira.

O terceiro tubo de queda é também em  $\phi 110$  e tem duas ligações em T a dois tubos de descarga horizontal. Um a 1,79 metros de distância da cota soleira com ligação em T que tem ligado a si dois autoclismos e outro a 0,57 metros de distância da cota soleira com

ligação em T e ligado a si um autoclismo Geberit de descarga completa, um urinol, também de descarga completa e uma torneira Geberit com acionamento através de sensor. Este ramal de descarga, à semelhança do ramal no segundo tubo de queda, também tem a particularidade de ter duas reduções de secção, uma de  $\phi 110$  para  $\phi 75$  entre o autoclismo e o urinol e de  $\phi 75$  para  $\phi 50$  entre o urinol e a torneira.

O quarto tubo de queda de que não se vão obter estudos tem algumas particularidades que não constam nos outros já referenciados. Uma delas é o sistema SOVENT.

Este sistema foi desenvolvido na Suíça em 1959 e actualmente é utilizado com alguma frequência nos Estados Unidos da América e na Europa. Na Europa, a sua comercialização é assegurada na maioritariamente pela Geberit (Silva Afonso, 2007)

Neste momento o sistema SOVENT está patenteado pela Geberit e é um sistema que permite reduzir os diferenciais de pressão pneumática provocados pelo escoamento no tubo de queda, tendo como objetivo a prevenção do fenómeno da auto-sifonagem dos sifões. Permite também eliminar a coluna de ventilação secundária e limitar o diâmetro do tubo de queda para os edifícios de elevada altura e tem a possibilidade de ter até seis ligações ao tubo de queda com apenas uma forquilha SOVENT como se pode ver na Figura 27 (Geberit, 2006).



Figura 27. Sistema Geberit Sovent

Este sistema recorre a duas importantes peças denominadas de “arejador” e “desarejador”. O arejador é colocado em todos os pisos com ligação a todos os dispositivos. Por sua vez o “desarejador” é colocado apenas na base da coluna. Esta solução da ligação do

“desarejador” com a base da coluna tem vindo a ser substituído por uma ligação em forquilha invertida.

A função do arejador é confinar a velocidade do ar e das águas residuais no tubo de queda, evitar problemas nas ligações opostas, limitar a formação de tampões no tubo de queda e garantir uma mistura adequada ar/água. O desarejador tem como objetivo separar o ar das águas residuais na base da coluna, o que evita pressões positivas.

No alçado posterior existem dois tubos de queda, ambos em  $\phi 110$ .

O primeiro tem uma ligação superior e uma inferior a 0,57 metros da cota soleira, ambas realizadas em T com ângulo ( $\cong 89^\circ$ ). Neste estudo apenas se abordará a ligação inferior. Essa ligação ao ramal de descarga tem três dispositivos e uma válvula de admissão de ar. Dois lavatórios com torneiras do tipo convencional e um autoclismo Geberit de dupla descarga. Este ramal tem duas reduções de secção. De  $\phi 40$  para  $\phi 50$  entre os dois lavatórios e de  $\phi 50$  para  $\phi 90$  entre um lavatório e o autoclismo. A ligação do ramal de descarga com o tubo de queda é feita em  $\phi 90$  sendo o tubo de queda  $\phi 110$ .

O segundo tubo de queda apenas tem uma ligação em T a um ramal na parte inferior do tubo. Este ramal suporta três dispositivos. Um autoclismo de dupla descarga Geberit e dois lavatórios, um com torneira do tipo convencional e outro com uma misturadora da marca Ramon Soler. O ramal também tem duas reduções de secção. De  $\phi 50$  para  $\phi 40$  entre os dois lavatórios e de  $\phi 90$  para  $\phi 50$  entre o autoclismo e o lavatório. Nota-se, assim, que a ligação do ramal com o tubo de queda é feita em  $\phi 90$ , sendo o tubo de queda em  $\phi 110$ .

Na tabela 6 podem-se observar os caudais instantâneos regulamentares quer para o primeiro tubo quer para o segundo tubo.

Aparelhos Sanitários	Caudais Instantâneos
Lavatório	30 l/min
Sanita	90 l/min

Tabela 6. Caudais instantâneos dos dispositivos do alçado posterior (Geberit, 2006)



## **4. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO**

### **4.1. Câmara telescópica (observação do interior)**

#### **4.1.1. Generalidades**

A câmara telescópica é um instrumento que permite ao utilizador ver determinados pontos em locais de difícil acesso e com espaços restritos que não são possíveis de serem vistos a olho nu, como por exemplo condutas subterrâneas, tubagens de difícil acesso, esgotos ou poços.

O aparelho é constituído por um ecrã LCD com 3,5'' e com capacidade de visualização, armazenamento e revisão de imagens e vídeos.

Esta câmara tem a capacidade de captar imagens/videos em diferentes materiais: água, gasolina, óleos, líquidos anticongelantes.

As imagens podem ser visualizadas diretamente no LCD da câmara ou então podem ser transferidas para o computador para uma visualização posterior através de um cartão de memória SDCard.

A câmara é alimentada por uma bateria interna, podendo ser recarregada por um carregador alimentado por energia elétrica.

O tubo tem de comprimento 3 metros e 5,5 milímetros de diâmetro e está equipado na extremidade com uma câmara com um sistema de iluminação LED regulável que permite uma captura das imagens mais eficaz.

Através do visor é possível ver “em direto” as imagens que estão a ser capturadas pela câmara, podendo ser estas fotografias ou vídeos.

#### 4.1.2. Fotografias e vídeo (observação de interiores)

Um dos objectivos primordiais desta dissertação era a captação de imagens no interior das tubagens com a câmara telescópica acima descrita, mas esta via revelou-se relativamente limitada, uma vez que as imagens não corresponderam às expectativas depositadas.

Os registos fotográficos para serem captados do centro do eixo imaginário das tubagens recorreu-se a alguns maquinismos para assegurar esta exactidão de alguma forma.

Para tal fez-se uma pequena peça em arame conforme mostra a Figura 28, em que o cabo da câmara telescópica ficava no centro do círculo formado pelo arame.

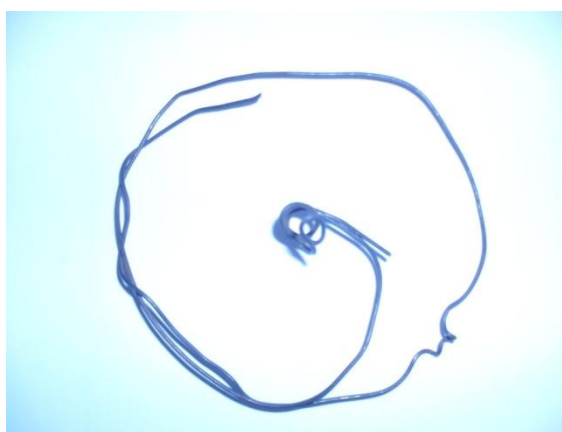


Figura 28. Peça em arame em forma circular

Ainda assim foram registadas algumas fotografias e alguns videos que demonstram tanto a dificuldade da visualização no interior das tubagens como um pouco do comportamento do escoamento dentro das mesmas.

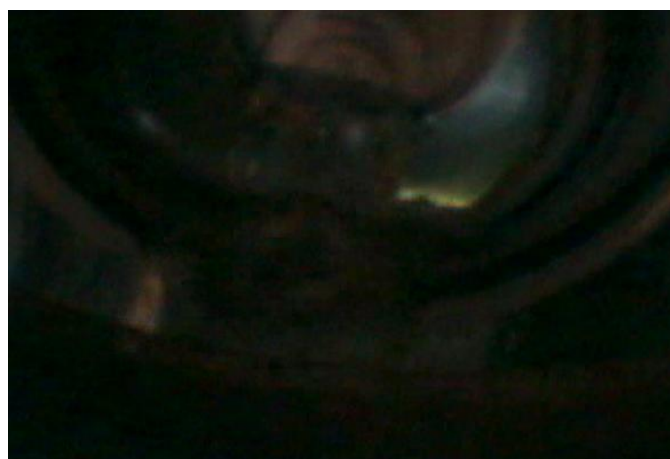


Figura 29. Escoamento de ramal de descarga numa ligação em T

A Figura 29 representa o escoamento da ligação em T do tubo de queda ao ramal de descarga. Neste caso está representado o primeiro tubo de queda.

A sonda da câmara telescópica foi introduzida pelo ramal de descarga do segundo tubo de queda.

## **4.2.Máquina fotográfica e vídeo**

Como já foi referido na Introdução do presente trabalho, foi utilizada uma máquina fotográfica digital para a obtenção das imagens e vídeos.

Muitas das imagens captadas no âmbito deste trabalho foram obtidas com recurso ao disparo automático de que a máquina fotográfica é equipada.

Esta máquina tem muitas características idênticas à camara telescópica. A memória da máquina, além da interna, é um Cartão SDCard. Tem um visor LCD onde as imagens são visualizadas no momento da captura ou então, podem ser revistas posteriormente no mesmo visor.

A alimentação da bateria é feita através de pilhas alcalinas AA, tendo ainda uma bateria de reserva no caso das pilhas falharem.



## **5. DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS**

### **5.1. Estudo experimental**

Devido à reduzida visibilidade por parte da câmara telescópica, como já acima foi referido, optou-se pela utilização de uma máquina fotográfica digital, captando assim imagens e vídeos no exterior dos tubos de queda e ramais de descarga.

É de salientar que todos os ensaios feitos no âmbito desta dissertação foram apenas utilizados um dispositivo por ensaio, por tubo de queda. Ou seja não houve simultaneidade de caudais na execução dos respetivos ensaios.

### **5.2. Ligação a tubos de queda**

#### **5.2.1. Análise teórica**

Os ensaios a realizar na análise do escoamento na ligação dos ramais de drenagem vão incidir principalmente na observação das imagens e vídeos.

Estas imagens irão retratar o comportamento do escoamento dentro do tubo podendo assim chegar a uma conclusão sobre o seu real comportamento e as disposições construtivas mais ou menos correctas a ter em determinadas situações.

#### **5.2.2. Teoria dos jatos líquidos**

As forças exteriores a atuarem numa secção de um jato líquido são apenas o peso do próprio líquido, sendo que as ações tangenciais entre o ar e o jacto são desprezadas e a pressão no interior do jato nula. Nestas condições, a aceleração do líquido é a aceleração da gravidade (Quintela, 2007)  $\vec{a} = \vec{g}$ .

Para as ligações em T, assumiu-se que o ângulo que a ligação do ramal de descarga fazia com o tubo de queda era de 90°.

Para as ligações em forquilha utilizou-se o ângulo de ligação tubo de queda-ramal de descarga de 45°

Tendo em consideração o sistema de eixos  $Oxz$  representado na Figura 30, no plano do jato, como origem sobre o eixo do jato, tem-se:

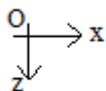


Figura 30. Sistema de eixos considerado

#### 5.2.2.1. Ligações ao tubo de queda ( $\cong 90^\circ$ )

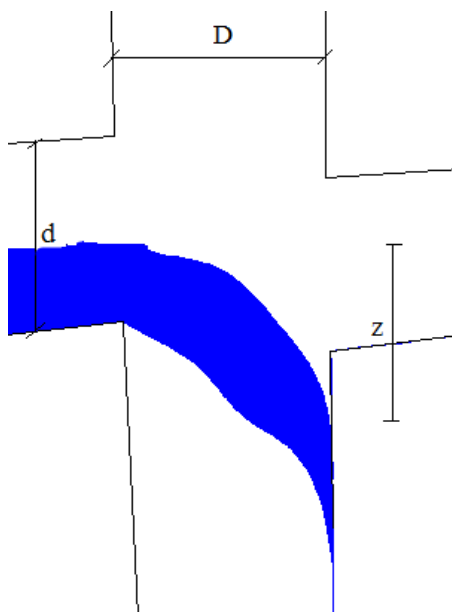


Figura 31. Esquematização da ligação tubo de queda – ramal de descarga ( $\cong 90^\circ$ )

$$\begin{cases} a_x = \frac{dV_x}{dt} = 0 \\ a_z = \frac{dV_z}{dt} = g \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} V_x = C_1 = V_0 \\ V_z = gt + C_2 \end{cases} \quad (2)$$

$$\{V_z = 0 + gt \quad (3)$$

$$\{V_z = gt \quad (4)$$

$$\begin{cases} V_x = V_0 \\ V_z = gt \end{cases} \quad (5)$$

Integrando o sistema de equações (5), vem:

$$\begin{cases} x = V_0 t \\ z = \frac{1}{2} g t^2 \end{cases} \quad (6)$$

Substituindo  $t$  da primeira equação do sistema (6) na segunda equação, vem:

$$t = \frac{x}{V_0} \Rightarrow z = \frac{1}{2} g \left( \frac{x}{V_0} \right)^2 \quad (7)$$

Sendo  $x=D$ , tem-se:

$$z = \frac{1}{2} g \frac{D^2}{V_0^2} \quad (8)$$

Através da equação de Strickler, a velocidade inicial é dada por (9):

$$V_0 = K R_H^{2/3} i^{1/2} \quad (9)$$

Tendo em conta que o material das tubagens é PVC, tem-se que  $K=120$  e  $i=1,5\%$

$$V_0 = 120 R_H^{2/3} \sqrt{0.015} \quad (10)$$

Tomando em consideração o dimensionamento a meia secção no ramal, tem-se que o raio hidráulico é:

$$R_H = \frac{d}{4} \quad (11)$$

Então, a velocidade inicial na ligação do tubo de queda com o ramal de descarga fica:

$$V_0 = 120 \left( \frac{d}{4} \right)^{2/3} \sqrt{0.015} = 5,83 d^{2/3} \quad (12)$$

Substituindo  $V_0$  na equação (8), resulta que

$$z = \frac{g}{2} \cdot \frac{D^2}{(5,83 d^{2/3})^2} \quad (13)$$

$$z = \frac{g}{67,98} \cdot \frac{D^2}{d^{4/3}} \quad (14)$$

Assim com a equação (14) é possível calcular a altura  $Z$  da lâmina de água na ligação do tubo de queda com o ramal de descarga como mostra a Figura 31, tendo em conta os diâmetros dos mesmos.



### 5.2.2.2. Ligações ao tubo de queda – Forquilha ( $\cong 45^\circ$ )

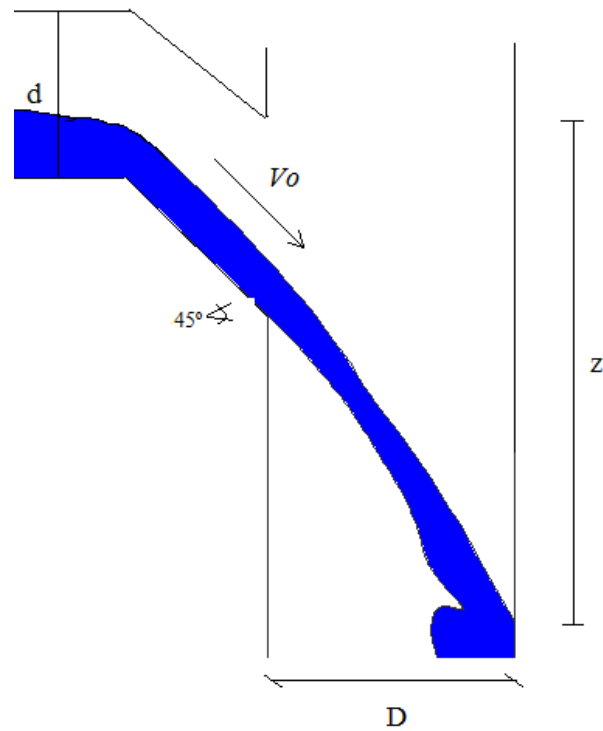


Figura 32. Esquematização da ligação tubo de queda – ramal de descarga – Forquilha de  $\cong 45^\circ$

Na ligação em forquilha, tem de ser considerar a velocidade segundo  $x$  e segundo  $z$ . Sendo assim, vem:

$$\begin{cases} V_x = V_{0x} \\ V_z = V_{0z} + gt \end{cases} \quad (15)$$

Derivando o sistema (15), tem-se:

$$\begin{cases} x = V_{0x}t \\ z = V_{0z}t + \frac{1}{2}gt^2 \end{cases} \quad (16)$$

Considerando o ângulo formado pela ligação do tubo de queda com o ramal de descarga de  $\alpha=45^\circ$ :

$$\begin{cases} x = V_0 \cos \alpha \cdot t = 0,707 \cdot V_0 t \\ z = V_0 \sin \alpha \cdot t + \frac{1}{2} g t^2 = 0,707 \cdot V_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{cases} t = \frac{x}{0,707 \cdot V_0} \\ z = 0,707 \cdot V_0 \cdot \frac{x}{0,707 \cdot V_0} + \frac{1}{2} g \left( \frac{x}{0,707 V_0} \right)^2 \end{cases} \quad (18)$$

$$\begin{cases} - \\ z = \left( x + \frac{1}{2} g \frac{x^2}{0,707^2 \cdot V_0^2} \right) \end{cases} \quad (19)$$

Sendo  $x=D$ , tem-se:

$$z = \left[ D + \frac{g}{2} \left( \frac{D}{0,707 \cdot V_0} \right)^2 \right] = D \left( 1 + \frac{gD}{V_0^2} \right) \quad (20)$$

Admitindo que na ligação é a secção cheia, tem-se que o raio hidráulico é:

$$R_H = \frac{d}{4} \quad (21)$$

Assim, pela equação de Strickler, (9), vem que a velocidade inicial é dada por:

$$V_0 = 5,83d^{2/3} \quad (22)$$

Substituindo  $V_0$  na equação (20), vem:

$$z = D \left( 1 + \frac{gD}{33,99d^{4/3}} \right) \quad (23)$$

Assim com as equações (14) e (23), é possível calcular a distância  $Z$ , analiticamente, que não deverão estar ligações opostas.

### 5.3. Ensaio

#### 5.3.1. Ligações em T

Os ensaios nas ligações em T, tal como acontece nas ligações em forquilha descritos no próximo ponto, foram efetuados com recurso a um corante dissolvido em água.

A diluição das pastilhas foi feita nos próprios dispositivos, lavatórios, bidés, banheiras, uma vez que havia a necessidade das pastilhas ficarem algum tempo na água antes de se proceder à descarga dos dispositivos.

Com o recurso a uma fita métrica, colocada paralelamente ao tubo de queda, conseguiu-se, com algum erro, verificar a altura a que não deverá haver uma ligação oposta, altura esse representada por  $z$  na Figura seguinte.

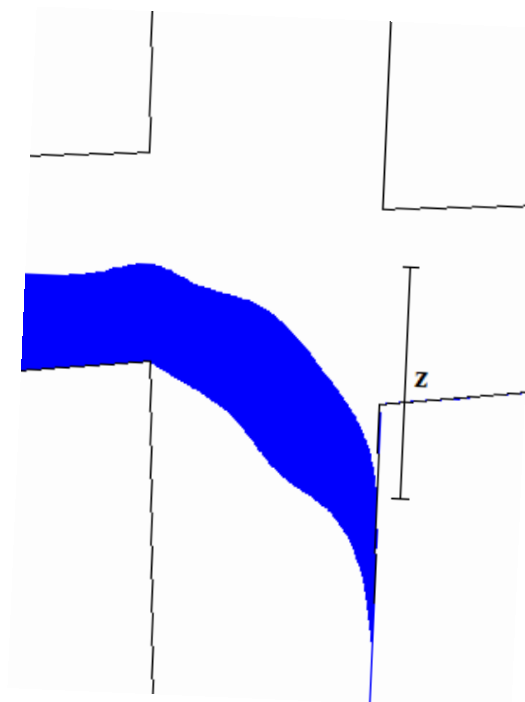


Figura 33. Altura a que não deve haver uma ligação oposta

### 5.3.2. Ligações em forquilha

Para as ligações em forquilha o processo foi em todo identico às ligações em T

## 5.4. Ensaaios em ramais de descarga

No caso dos ramais de descarga o processo dos ensaios foi diferente. Usaram-se, tal como para os ensaios nos tubos de queda, as pastilhas corantes que, após a diluição em água, no bidé conforme mostra a Figura 34, serviram para verificar os fenómenos na ligação do dispositivo com o proprio ramal de descarga.



Figura 34. Diluição das pastilhas corantes em água – bidé



Figura 35. Ligação do dispositivo (bidé) ao ramal de descarga

Este ramal, além do bidé, tem também ligado a si a montante uma banheira. Nessa banheira foi colocado leite de soja diluído em água. O objetivo do leite, devido à sua cor branca, é quando o escoamento da proveniente da banheira (branco) se juntar ao do bidé (azul), observar-se o comportamento dos dois escoamentos juntos como se pode visualizar na Figura 36.

A razão do leite de soja foi simplesmente pelo facto de não ser de origem animal, logo não tão gorduroso e por isso não colocava problemas de limpeza posteriores.

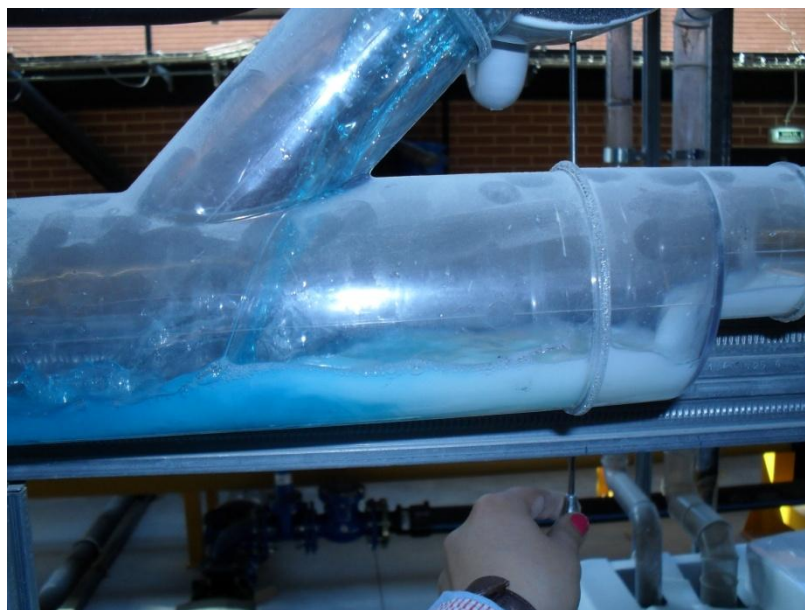


Figura 36. Mistura de escoamentos – cor azul do bidé e cor branca da banheira

Nesta Figura 36 consegue-se perceber que o escoamento proveniente do bidé recua quando se mistura com o que vem da banheira fazendo um pequeno ressalto, por isso é justificável a redução de secção que evita que todo o escoamento recue ainda mais, retomando a ligação da banheira e causando fenómenos de retrocesso do escoamento.

Não se focou o estudo de ligações entre dispositivos sanitários e ramais de descarga, sendo que esta consideração será proposta como trabalho futuro.

## 6. RESULTADOS OBTIDOS

### 6.1. Resultados teóricos

Com recurso a tabelas de excel e usando as equações (14) e (23) chegou-se a valores de  $z$ , aos quais não deverá haver nenhuma ligação oposta no tubo de queda.

	d (m)	D (m)	$z = \frac{g}{67,98} \cdot \frac{D^2}{d^{4/3}}$ (m)
<b>Ligações em T <math>\phi 110</math> - <math>\phi 90</math></b>	0,09	0,11	0,043292886
<b>Ligações em T <math>\phi 110</math> - <math>\phi 110</math></b>	0,11	0,11	0,033130

Tabela 7. Resultados teóricos – Ligações em T (90°)

	d (m)	D (m)	$z = D \left( 1 + \frac{gD}{33,99d^{4/3}} \right)$ (m)
<b>Ligações em Forquilha <math>\phi 110</math> - <math>\phi 110</math></b>	0,11	0,11	0,176259217

Tabela 8. Resultados teóricos – Ligações em Forquilha (45°)

Os valores resultantes destas duas tabelas são valores dentro dos quais já se esperavam, tendo em conta os valores verificados nos ensaios laboratoriais.

## 6.2. Imagens obtidas

### 6.2.1. Considerações

Todas as imagens obtidas através da máquina fotográfica têm associadas a si a respetiva representação esquemática efetuada com recurso ao programa de desenho AUTOCAD 3D. Luta pela Felicidade! Nem que para isso tenhas de sofrer.... Mas verás que no final valeu a pena o esforço!

### 6.2.2. Ligações a tubos de queda

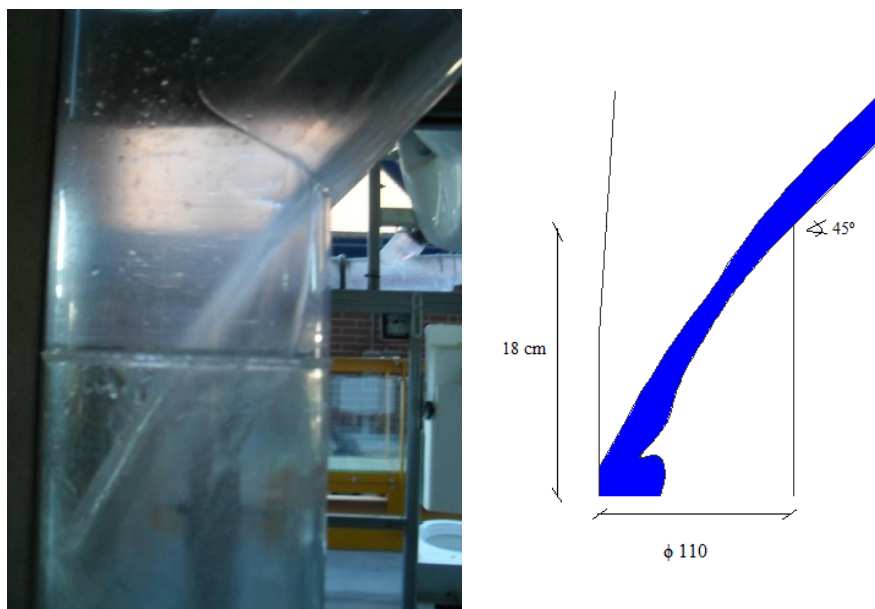


Figura 37. Escoamento na ligação dos ramais de drenagem ao tubo de queda – Ângulo de intersecção 45°

Neste ensaio, apresentado na Figura 37, esteve em estudo a ligação em forquilha entre o ramal de descarga com  $\phi 110$  e o tubo de queda igualmente de  $\phi 110$ . Sendo assim, consegue-se perceber que a altura mínima a que deve estar a ligação oposta tem de ser, pelo menos, 18 cm. Sempre tendo em consideração que só foi acionado um dispositivo sanitário, neste caso o dispositivo em causa foi um autoclismo.

Este ensaio não teve recurso a corante pois foi feita a descarga de um autoclismo e a entrada para o tanque da água diluída com o corante é relativamente difícil. Mas mesmo assim conseguiu-se ter uma percepção do escoamento ocorrido nesta ligação.



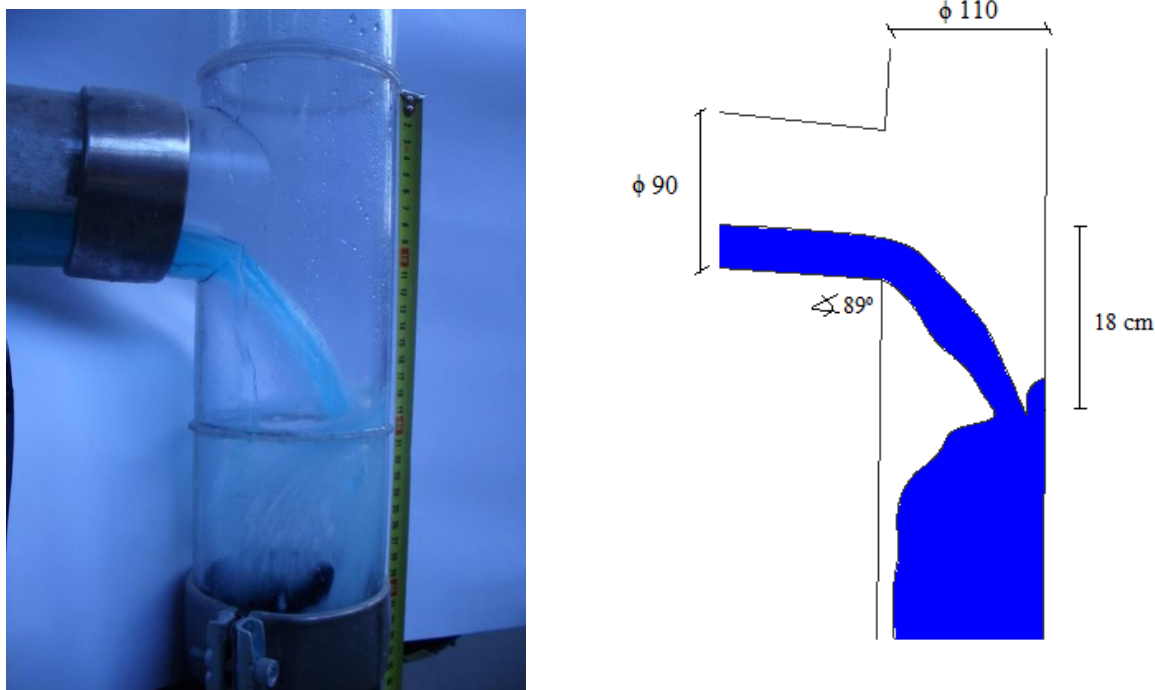


Figura 38. Escoamento na ligação dos ramais de drenagem ao tubo de queda – Alçado posterior – Ligação em T ( $\cong 89^\circ$ )

Este ensaio, esquematizado na Figura 38, realizado no alçado posterior, já foi com recurso ao corante diluído na água para que o escoamento fosse de fácil visualização. Mais uma vez se nota na Figura 38 a utilização da cartolina por de trás da para o contraste das cores.

Foi colocada uma fita métrica para ter a percepção mais exacta da altura do escoamento em contacto com a parede oposta do tubo de queda.

A distância considerada, a que não deverá haver nenhuma ligação oposta neste caso, é de 18 cm, sendo que apenas foi efetuada a descarga de um lavatório.

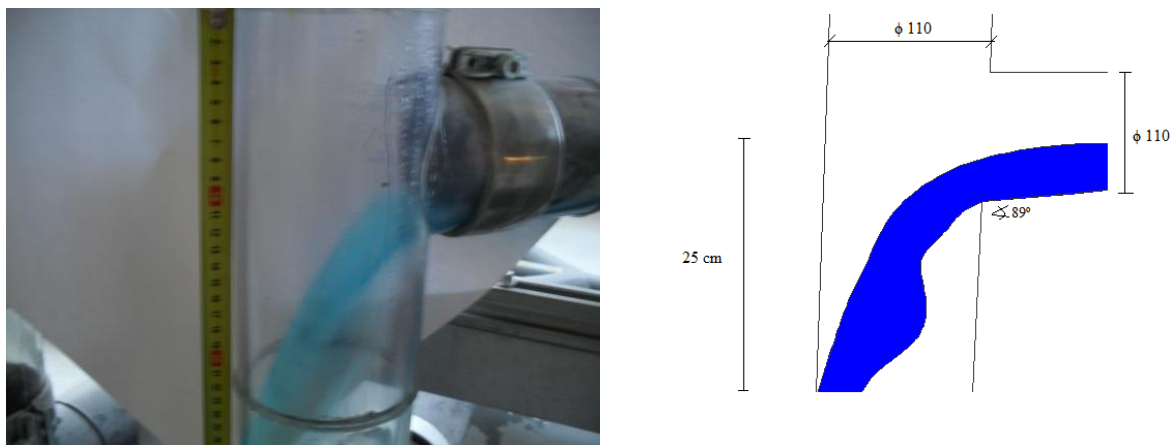


Figura 39. Escoamento na ligação de ramais de drenagem ao tubo de queda – Alçado principal – Ligação inferior em T ( $\cong 89^\circ$ )

Este ensaio foi efetuado na parte inferior do 2º tubo de queda, conforme a Figura 25. Foi dos ensaios que obteve maior valor da distância apresservar para ligações opostas.

Esta ligação tem, diferente de todas as outras, a particularidade de fazer, em planta, uma curva de concordância com um ângulo de  $45^\circ$ , como se pode ver Figura 40.

Foi nesta ligação onde se verificou a maior distância para a qual não deverá haver ligações opostas, 25 cm.

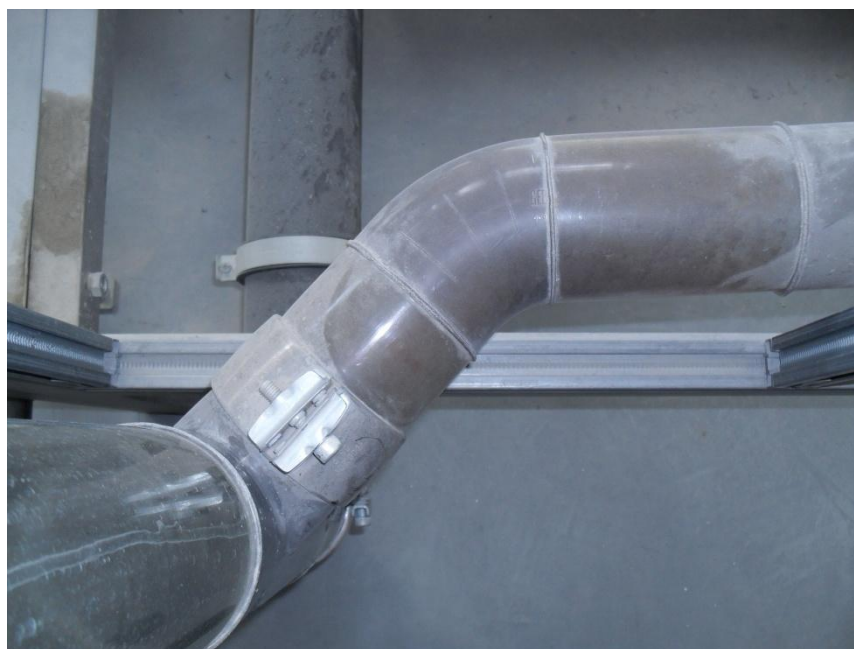


Figura 40. Curva de concordância na ligação do ramal de descarga ao tubo de queda Nº2

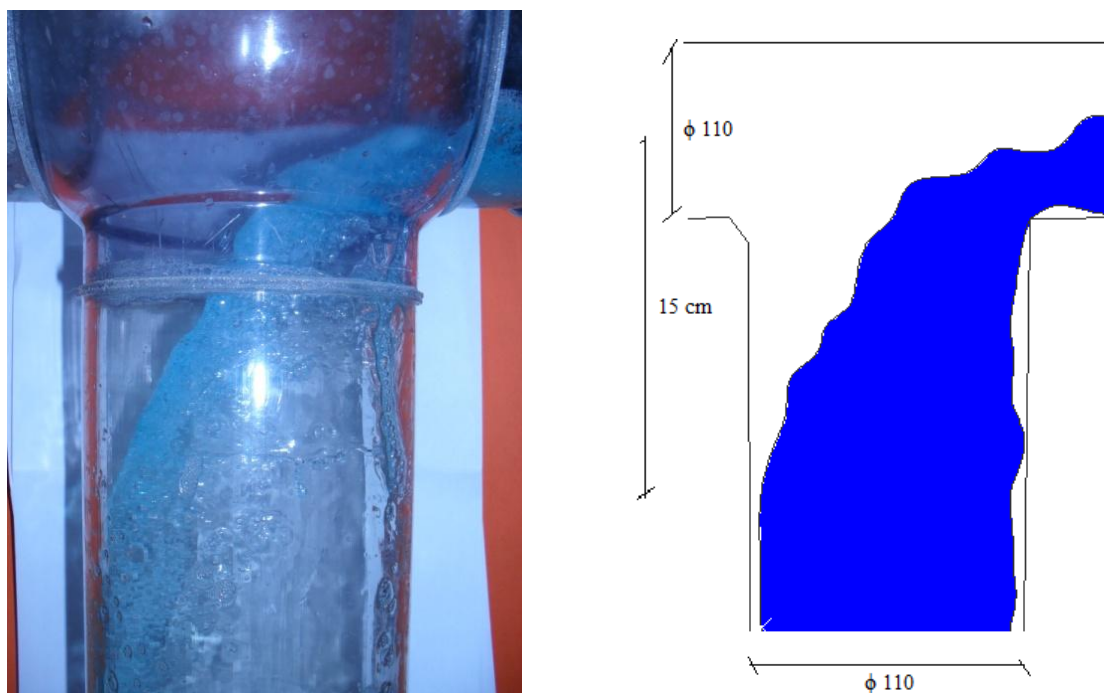


Figura 41. Escoamento na ligação dos ramais de descarga ao tubo de queda – Alçado Principal – Ligação em T ( $\cong 89^\circ$ )

No ensaio representado na Figura 41 apenas se efetuou a descarga do bidé, ou seja não houve simultaneidade de caudais.

Nesta ligação o valor da distância para o qual não deverá haver lugações opostas foi de 15 cm.

### 6.2.3. Ligações de aparelhos a ramais

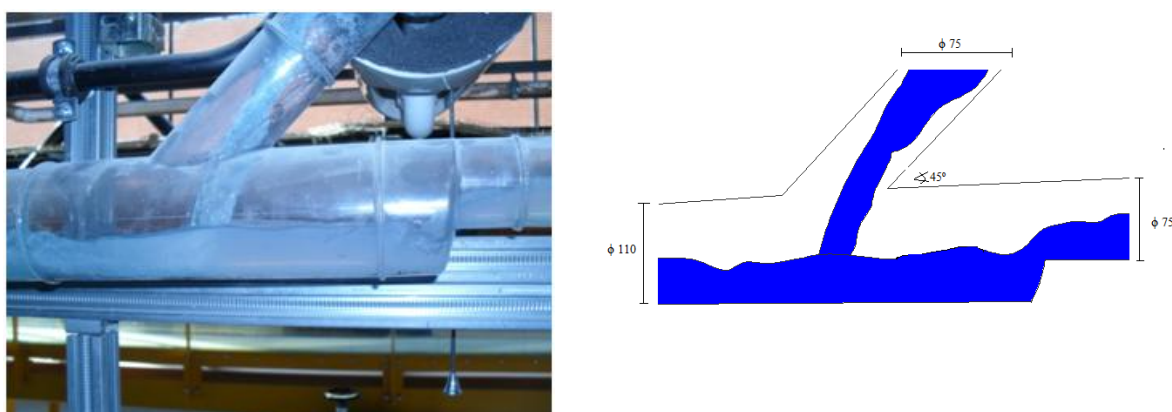


Figura 42. Escoamento na ligação de dispositivos com ramais de descarga

O estudo na ligação de aparelhos sanitários a ramais de descarga não foi focado neste trabalho, apenas se registou esta ligação de um bidé ao ramal de descarga, Figura 42.

### 6.3.Tabela-Resumo

	Distancia Z (m)
<b>Ligações em T <math>\phi 110</math> - <math>\phi 90</math></b>	0,18
<b>Ligações em T <math>\phi 110</math> - <math>\phi 110</math></b>	0,15
	0,25
<b>Ligações em Forquilha <math>\phi 110</math> - <math>\phi 110</math></b>	0,18

Tabela 9. Resultados dos ensaios experimentais

Na Tabela 9 resumem-se os valores resultantes dos ensaios laboratoriais nas várias ligações de ramais com tubos de queda.

## 7. ANÁLISE DE RESULTADOS

Pela visualização das imagens do capítulo anterior, principalmente as das ligações dos tubo de queda aos ramais de descarga consegue-se ter uma percepção da distância vertical à qual não deve haver nenhuma ligação a um ramal de descarga oposta.

Distância essa que assegura que não haja passagem do escoamento de um ramal para outro verticalmente oposto como se pode verificar na Figura 43.

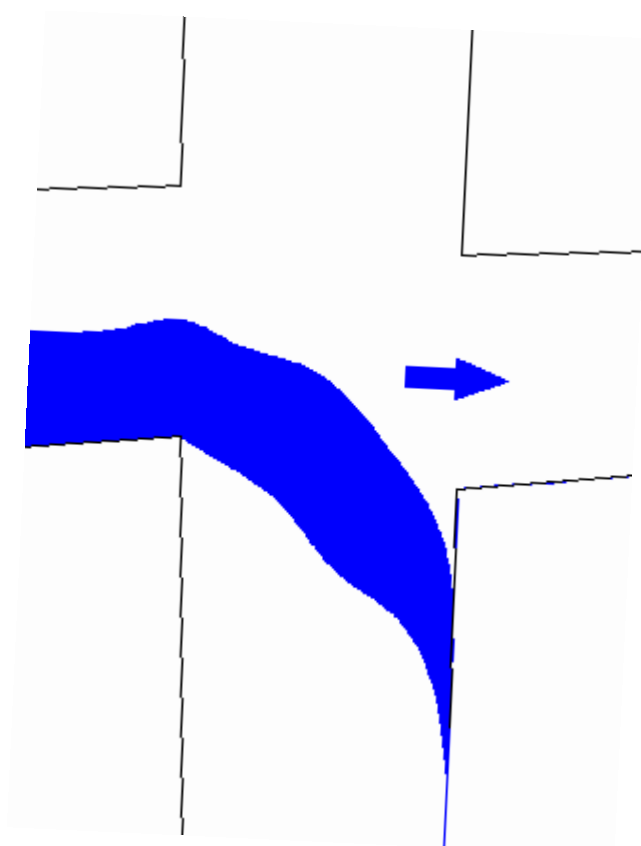


Figura 43. Fenómeno a evitar em ligações opostas em tubos de queda

Em ligações verticalmente opostas, sejam em forquilha ou em T, e no mesmo eixo imaginário não existe o problema do escoamento passar de um ramal para o outro ramal, como se pode comprovar pela Figura 44.



Figura 44. Ligação em T – Ligação verticalmente oposta

Não existe nenhuma relação com a altura mínima a que deve estar a ligação do tubo de queda com o ramal de descarga, com a geometria do tubo de queda, seja ela em forquilha de 45° ou em T de  $\cong 89^\circ$ .

Uma vez que se verificam valores entre os quinze centímetros e os vinte e cinco centímetros, poderá toma-se como valor de referência os trinta centímetros de altura mínima a que não deverá haver numa ligação oposta.

Nos ramais de descarga verificar-se a importância das reduções de secção, uma vez que impede o recuo do escoamento, embora não seja abordagem de estudo deste trabalho.

Comparando as tabelas Tabela 7e Tabela 8 com a Tabela 9, nota-se que os valores não saem muita da ordem de grandeza uns dos outros, o que já seria expectável.

### **7.1.Proposta de disposições construtivas**

Com base na revisão do Regulamento Geral Português, e tendo em conta o estudado na realização deste trabalho, é relevante propor disposições construtivas. A imagem seguinte sugere um exemplo de disposição construtiva para tubos de queda e ramais de descarga ambos de  $\phi 110$  e ligações em forquilha de 45°.

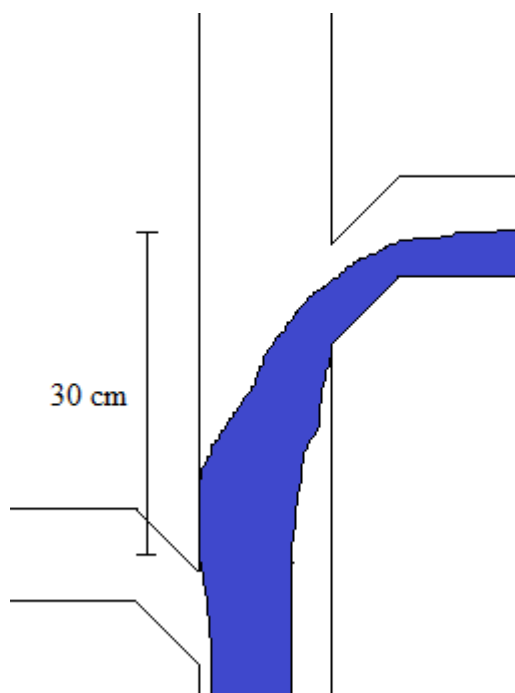


Figura 45. Proposta de disposição construtiva – Exemplo ligação em forquilha

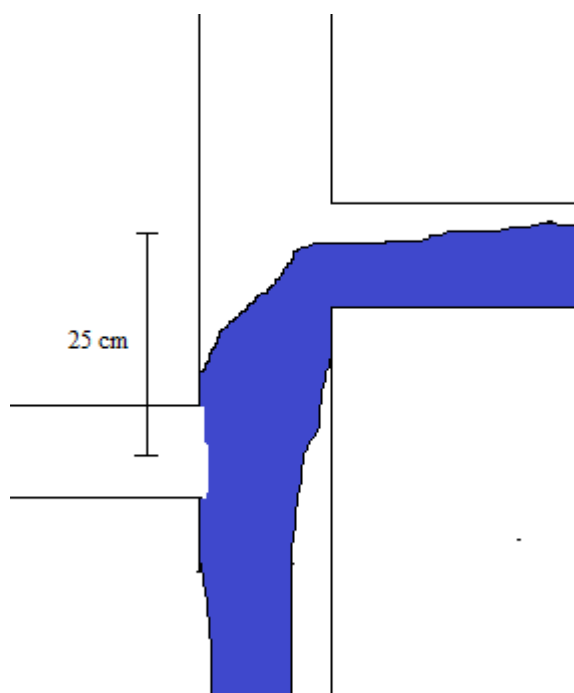


Figura 46. Proposta de disposição construtiva – Exemplo ligação em T

As distâncias identificadas nas Figura 45 e Figura 46, apesar de parecerem demasiado elevadas em relação aos valores dos resultados obtidos experimentalmente, salvaguardam as características dos escoamentos e diferentes diâmetros a considerar futuramente.





## 8. CONCLUSÕES

Uma vez que se iniciará muito brevemente uma revisão do Regulamento Geral Português (RGSPDADAR) é importante salientar as distâncias mínimas que se devem preservar ao efetuar uma ligação oposta em tubos de queda, sejam eles em forquilha ou em T.

Em tubos de queda com  $\phi 110$  ou se tem ligações verticalmente opostas no mesmo eixo imaginário ou então poder-se-ia efetuar ligações opostas mas a uma determinada distância.

No capítulo anterior foram propostas disposições construtivas quer para ligações em forquilha, quer para ligações em T.



## **9. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS**

Uma vez que este estudo foi realizado no Laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro com recurso à Torre Hidráulica é importante referir que apenas se efetuou o estudo a sistemas de drenagem de águas residuais domésticas, sendo pertinente o estudo e análise do escoamento em ligações de sistemas de drenagem pública de águas residuais e eventualmente de sistemas de drenagem de águas pluviais.

Poderia-se, também, recorrer a outros diâmetros para o estudo destas ligações e a caudais diferentes dos utilizados.

Um futuro trabalho, também, a ter em conta é a análise de escoamentos na ligação de ramais de drenagem mas usando caudais simultâneos.

Como apenas se fez a análise do comportamento do escoamento em ligações ramais de descarga-tubos de queda, seria de elevado interesse aplicar os mesmos princípios mas a ligações de ramais de descarga com dispositivos sanitários conjugando com diferentes diâmetros, inclinações, reduções de secção e comprimentos entre ligações.



## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AWE (2011). The Impacts of High-Efficiency Toilets on Plumbing Drainlines and Sewers.
- Barbosa, J. (1999). "Sistemas de abastecimento de água e sistemas de drenagem e tratamento de esgotos." LNEC - Instalações de águas e esgotos em edifícios Volume 1(4ª Edição).
- Cheng, C., W. Liao, et al. (2009). Empirical study on terminal water velocity of drainage stack. CIB W062 International Symposium Germany.
- DR-nº23/95 (1995). Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais. Diário da República.
- EN-12056 (2000). Gravity drainage systems inside buildings - Part 2: Sanitary pipework, layout and calculation. European Committee for Standardization, Bruxelas.
- Geberit (2006). Ficha Técnica - Sistema Geberit Sovent. Lisboa.
- Kajiya, R., T. Mitsunaga, et al. (2008). CFD Simulation and experimental study of flow characteristic of siphon drainage system. CIB W062 International Symposium Hong Kong.
- Lança, P. (2008). Apontamento de Física dos Edifícios - Redes Prediais - Capítulo 7. Instituto Politecnico de Beja, Beja
- Lee, E., L. Wong, et al. (2010). Determination of Terminal Velocity of Stack Flow by Numerical Simulation. CIB W062 International Symposium, Australia.
- Martins, J. G. (2007). Distribuição e drenagem de águas. Universidade Fernando Pessoa, Porto
- Matos, J. (2003). Aspectos Históricos e Actuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais em Meio Urbano. Revista de Engenharia Civil. Lisboa, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do Instituto Superior Técnico.

- Öngören, A., R. Materna, et al. (2005). Investigation of the effect of swept entry configuration on the air entrainment and self-siphoning behaviour in gravity drainage systems. CIB W062 International Symposium Belgium.
- Quintela, A. (2007). *Hidráulica*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Sakaue, K. (2010). Development of Next Generation Drainage System. CIB W062 International Symposium, Sydney-Australia.
- Silva Afonso, A. (2003). Instalações Prediais de Águas e Esgotos: Erros e Defeitos Frequentes na sua Concepção e Construção. 2º Simpósio Internacional sobre Patologia, Durabilidade e Reabilitação dos Edifícios, Lisboa.
- Silva Afonso, A. (2007). Apontamentos de Instalações Hidráulicas Prediais. Universidade de Aveiro, Aveiro
- Swaffield, J. e L. Galowin (1992). *The engineered design of building drainage systems*. Ashgate Publishing Limited.
- Torres, J. (1999). "Redes Superiores de Esgotos de Edifícios de Habitação." LNEC - Instalações de águas e esgotos em edifícios 1º Volume(4ª Edição).
- Ueno, T. e M. Otsuka (2011). A study on how to ensure the drainage performance of a drainage pipe system for flow-rise housing and a piping design method of the same. CIB W062 International Symposium, Aveiro-Portugal.
- Valsir (2009). Sistemas de drenagem para edifícios - Características, dimensionamento, cálculo, instalação e ensaios. Manual Técnico L02-400/0. Valsir. Brescia, Italy.